This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

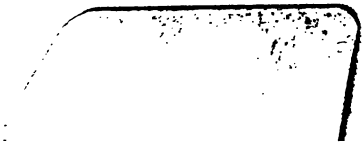
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



3-PAF
Pouillet

13-PAF
Powillet

Pouillet's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie,

für

deutsche Verhältnisse frei bearbeitet

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zweiter Band.

Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit über 1200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1847.

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Als

dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage

der Bearbeitung

von

Pouillet's Lehrbuch der Physik.

Zweiter Band.

Mit etwa 500 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1847.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
887308A
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1937 L

Sechster Abſchnitt.

Magnetismus und Elektricität.

Erſte Abtheilung.

Magnetismus.

Erſtes Kapitel.

Von der gegenſeitigen Wirkung der Magnete auf einander und auf magnetiſche Körper.

Man findet im Schoße der Erde Körper, welche die Eigenſchaft haben, 1
Eiſen anzuziehen. Dieſe Körper, welches auch ihre Zuſammenſetzung und ihre Form ſeyn mag, nennt man natürliche Magnete, früher nannte man ſie Magnetſteine, weil ſie eher ein ſteiniges als ein metalliſches Anſehen haben. Es giebt ſchwache Magnete, d. h. ſolche, welche bei großem Volumen doch nur eine geringe anziehende Kraft zeigen und, mit Eiſenfeile in Berührung gebracht, kaum einige Stückchen zu heben im Stande ſind; dagegen findet man andere Magnete, welche ſo ſtark ſind, daß ſie Maſſen von 100, ja von 200 Pfunden tragen können.

Um die anziehende Kraft zu zeigen, welche ein Magnet auf das Eiſen ausübt, kann man folgende Verſuche anſtellen:

1) Wenn man einen Magneten mit einem Ende in Eiſenfeile taucht, ſo ſieht man, daß die Metalltheilchen ſich an ſeine Oberfläche anhängen, daß ſich ferner wieder ein Eiſentheilchen an's andere hängt, und ſich ſo Büſchel von der Länge einiger Linien bilden. Dieſes Aneinanderhängen der Eiſentheilchen überhaupt, ſo wie auch die Art und Weiſe, wie ſie ſich unter einander ordnen, iſt höchſt merkwürdig, und wir werden ausführlicher darauf zurückkommen; für jetzt ſoll es uns nur ein einfacher Beweis für die Anziehung ſeyn.

2) Wenn man einem Magneten, je nach ſeiner Stärke, größere oder kleinere Stücke Eiſen nähert, ſo ſcheinen ſie in einer Entfernung von eini-

gen Linien vom Magnete gleichſam leichter zu werden; ſie werden gegen ſeine Oberfläche hingezogen und bleiben dann an derſelben hängen; um ſie wieder abzureißen, hat man nach Umſtänden eine größere oder kleinere Kraft nöthig.

3) Wenn man eine kleine Eiſenkugel an einem biegſamen Faden aufhängt und nach und nach einen Magneten nähert, ſo ſieht man, wie das Pendel ſich merklich von der Richtung der Vertikalen entfernt. Man kann auf dieſe Art ſelbſt mehrere charakteriſtiſche Eigenſchaften der magnetiſchen Anziehungskraft nachweiſen, nämlich 1) daß ſie in die Ferne wirkt, 2) daß ſie eben ſo durch die Luft wie durch ein Vacuum, überhaupt durch alle Körper hindurch, Eiſen ausgenommen, auf gleiche Weiſe wirkt, 3) daß ſie mit wachſender Entfernung an Stärke abnimmt.

Da alle Anziehungen gegenſeitig ſind, ſo muß man ſchließen, daß, wenn der Magnet das Eiſen anzieht, umgekehrt auch der Magnet vom Eiſen nach denſelben Geſetzen angezogen wird. Dieſe nothwendige Folgerung läßt ſich übrigens auch direct durch die Umkehrung der eben angeführten Verſuche darthun. Wenn man einen Magneten aufhängt, um ihn dadurch beweglich zu machen, ſo beobachtet man die erwähnten Erſcheinungen, wenn man ihm ein Stück Eiſen nähert.

Da ſich dieſe anziehende Kraft von allen übrigen Naturkräften unterſcheidet, ſo hat man ihr auch einen beſonderen Namen, magnetiſche Kraft, gegeben, was von dem Worte *μάγνης* herkommt, mit welchem die Griechen die Steine bezeichneten, welche die erwähnte Eigenſchaft haben, die den Alten ſchon bekannt war. Plato ſpricht davon in mehreren ſeiner Dialoge, und man muß bis zu den Zeiten des Pythagoras hinaufgehen, um die erſten Notizen über dieſen Gegenſtand zu finden, welche auf unſere Zeiten gekommen ſind.

2 **Jeder Magnet hat eine Mittellinie und zwei Pole.** Das Eiſen ſcheint in Beziehung auf den Magnet das zu ſeyn, was die ſchweren Körper für die Erdkugel ſind. Auf allen Seiten zieht die Erde die ſchweren Körper gegen ihre Oberfläche an. Sehen wir nun, ob dies beim Magnete ebenſo iſt? ob die Eiſentheilchen auf allen Punkten ſeiner Oberfläche auch gegen ſeinen Mittelpunkt angezogen werden? Nehmen wir das magnetiſche Pendel wieder zur Hand, d. h. eine kleine eiſerne Kugel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt iſt. Wenn man den Magneten immer in gleiche Entfernung von der Eiſenkugel hält, ſo findet man, daß gewiſſe Punkte ſeiner Oberfläche, wenn man ſie der Kugel zuwendet, eine ſtärkere Ablenkung bewirken als andere. Beſonders bemerkt man zwei entgegengeſetzte Enden, welche eine ganz beſonders ſtarke Wirkung äußern, während man an allen Punkten, welche zwiſchen dieſen liegen, einen geringeren Effect beobachtet. Man gelangt zu demſelben Reſultate, mag man nun

zu diesem Versuche einen natürlichen Magneten in seiner unregelmäßigen Gestalt oder einen künstlichen Magneten von cylindrischer oder prismatischer Form anwenden. In dem letzteren Falle ist der Unterschied auffallender, und man sieht bald, daß diejenigen Querschnitte des Magneten, welche seiner Mitte nahe liegen, nicht auf das Pendel wirken, während die Wirkung, welche die äußersten Punkte hervorbringen, sehr kräftig ist. Man kann also auf der Oberfläche eines Magneten, ungefähr in der Mitte seiner Länge, eine Linie um denselben ziehen, deren Punkte gar keine anziehende Kraft auf das Eisen zeigen; man nennt diese Linie die neutrale Linie oder die Mittellinie. Sie theilt den Magneten in zwei Theile, welche man seine Pole nennt. Das Wort Pol wird auch noch in zwei anderen Bedeutungen gebraucht. Wir werden uns desselben bedienen, um diejenigen Punkte der Oberfläche damit zu bezeichnen, welche am weitesten von der Mitte entfernt sind, und in welchen die Anziehungskraft am stärksten ist; dann aber bezeichnet man auch mit dem Worte »Pol« einen idealen Punkt im Innern des Magneten, von welchem man sich die anziehende Kraft ebenso ausgehend denken kann, wie man sich die Gesammtanziehung, welche von der Erde ausgeht, in ihrem Mittelpunkte vereinigt denkt; denn ein Eisentheilchen wird nicht allein von demjenigen Punkte des Magneten angezogen, an welchem es gerade anhängt, oder welchem es zunächst liegt, sondern von allen denjenigen, welche auf derselben Seite der Mittellinie liegen; der Angriffspunkt der Resultirenden aller dieser partiellen Anziehungen im Magnete nun wird der Pol genannt. Es wird stets leicht seyn, aus dem Zusammenhange zu ersehen, in welcher der drei Bedeutungen das Wort Pol zu nehmen sey. In jedem Falle hat ein Magnet eine Mittellinie und zwei Pole.

Dieser Fundamentalsatz kann aber auch durch andere leichtere und noch entscheidendere Versuche dargethan werden. Man wälze einen Magneten in Eisenfeile, so wird er sich mit längeren und kürzeren Fäden bedecken, welche dem Auge sichtbar machen, wie verschieden die Anziehung an verschiedenen Punkten der Oberfläche ist. Die Fig. 1 zeigt die Erscheinung an einem natürlichen, Fig. 2 an einem künstlichen Magneten. Die Enden bedecken sich mit langen Fäden von Eisenfeile, welche rechtwinklig auf der Oberfläche stehen. An denjenigen Querschnitten, welche weiter von den Enden entfernt sind, werden die Fäden kürzer und fangen an, sich gegen die

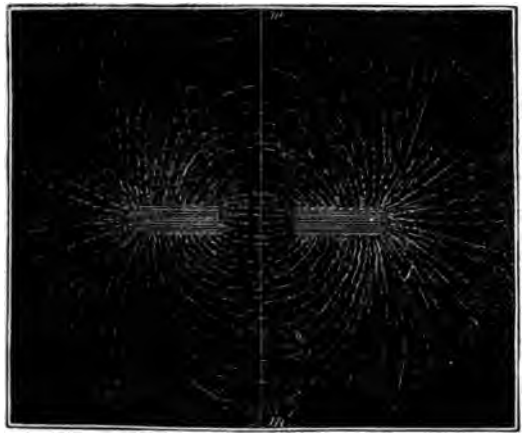
Fig. 1.

Fig. 2.

Mitte hin zu neigen, gleichſam als ob ſie ein Beſtreben hätten, von Enden zu fliehen und ſich der Mitte zu nähern. In der Mittellinie n endlich bleibt kein Eiſentheilchen hängen.

Man kann ähnliche Erſcheinungen hervorbringen, wenn man auf e Magneten ein Kartenblatt oder Papierblatt legt und Eiſenfeile durch feines Sieb darauf fallen läßt; wenn man dann ganz ſchwach an Blatt anſtößt, ſo ordnen ſich die Eiſentheilchen in regelmäßige Kur wie man Fig. 3 ſieht. Sie zeichnen gleichſam die Geſtalt des Magn

Fig. 3.



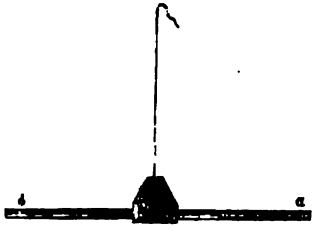
mit ſeinen Polen ab. Man ſieht auf dieſe Weiſe ſehr deutlich, wie Fäden der Eiſenfeile von den beiden Seiten der Mittellinie *m m'* ausge um ſich auf dieſer zu vereinigen. Dieſer Verſuch zeigt zu gleicher Zeit, die Anziehung des Magneten durch die Subſtanz des Papiers hindurchw

Man ſollte auf den erſten Anblick glauben, daß, wenn man ei Magneten nach ſeiner Mittellinie theilt, alsdann die beiden ſo erhalte Stücke jedes für ſich nicht vollſtändig die Eigenſchaften eines ganzen M neten haben könnten. Der Verſuch iſt leicht anzuſtellen. Wir we ſehen, daß man von gut gehärtetem Stahle Magnete machen kann, w wie Glas brechen. „Nehmen wir einen Magneten von dieſer Art, bre wir ihn nach ſeiner Mittellinie durch, ſo werden wir finden, daß jede beiden Hälften für ſich, in Eiſenfeile gelegt, ganz die Eigenſchaften e vollſtändigen Magneten zeigt, jedes Stück hat wieder ſeine beiden Pole ſeine Mittellinie. Bricht man jedes Stück von Neuem durch, ſo ſind l zuletzt erhaltenen Stücke wieder vollſtändige Magnete, welche, wie urſprüngliche, ihre Pole und ihre Mittellinie haben. Wir werden ſpäter

Grund dieser Erscheinung kennen lernen; hier genügt es, die Thatsache anzudeuten und zu zeigen, daß es unmöglich ist, einen Magneten zu bilden, welcher nur einen Pol hat.

Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an. Die Fig. 4 stellt einen Magneten dar, welcher, in einer Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun jedem der beiden Pole *a* und *b* denselben Pol eines anderen Magneten nähert, so wird der Pol *a* angezogen, während *b* abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie auf verschiedene Weise auf denselben ihnen genäherten Pol wirken. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hielt, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden, *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magneten sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magneten ungleichnamig sind. 3

Fig. 4.



Nähert man dem aufgehängten Magneten nach einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht seyn, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magneten anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magneten mit *n*, den Pol des zweiten Magneten aber, welcher ebenso wirkt, mit *n'*, so sind *n* und *n'* die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Der zweite Pol des ersten Magneten sei *m*, der des andern *m'*, so wird der Pol *m* ebenso wie der Pol *m'* den Pol *a* des aufgehängten Magneten abstoßen, den Pol *b* aber anziehen. Die beiden Pole *m* und *m'* sind ebenfalls gleichnamig.

Hängen wir jetzt den Magneten, dessen Pole wir mit *m* und *n* bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähern wir ihm den andern, so finden wir, die Pole *m* und *m'* stoßen sich ab, ebenso die Pole *n* und *n'*, die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Die Pole *m* und *n'*, *n* und *m'*, also die ungleichnamigen Pole, ziehen sich an.

In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, liegen zwei Kräfte, welche anfangs ganz identisch schienen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Grenze zweier antagonistischen Kräfte, sie bildet den Uebergang von der

einen zur andern, und darin liegt auch die Urſache ihrer neutralen Beſchaffenheit.

Sucht man nun auf die Urſache dieſer magnetiſchen Erſcheinungen zurückzugehen, ſo ſieht man bald, daß ſie nicht wie die Schwere einer inhärirenden Eigenſchaft der ponderabeln Materie zugeſchrieben werden kann. Die natürlichen Magnete ſind ihrer chemiſchen Zuſammenſetzung nach Eiſenoxyd-Oxydul, ſie beſtehen alſo nur aus Eiſen und Sauerſtoff. Nun hat aber keines dieſer Beſtandtheile für ſich die Eigenſchaft, magnetiſche Wirkungen hervorzubringen, und es iſt ſehr unwahrſcheinlich, daß ihre Molekûle, indem ſie ſich verbinden, ganz neue weſentliche Eigenſchaften erhalten ſollten, die ſie vor ihrer Verbindung nicht hatten. Man hat bis jetzt an ponderabelen Materien noch nie beobachtet, daß die Form, das Arrangement der Theilchen, die Urſache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften iſt. Von einer andern Seite betrachtet, können die inhärirenden Kräfte der ponderabeln Materie wohl vermehrt und vermindert oder auf mannigfache Weiſe modificirt werden, man kann ſie aber niemals gänzlich vernichten, während die magnetiſchen Kräfte nach Belieben zerſtört und wiedererzeugt werden können. Man kann dies nachweiſen, wenn man einen Magneten bis zum Rothglühen erhitzt. Er verliert dabei nichts von ſeinen materiellen Theilchen, und dennoch hat er alle magnetiſchen Eigenſchaften verloren. Nach dem Erkalten iſt er, was ſeine Materie betrifft, vollkommen unverändert, er äußert aber auf das Eiſen nicht die geringſte anziehende Kraft. Man kann ihm aber, wie wir bald ſehen werden, ſeine magnetiſchen Eigenſchaften bald wieder ertheilen, ohne ihm an ponderabeler Materie auch nur das Mindeſte hinzuzufügen oder wegzunehmen.

Man iſt durch dieſe Gründe dahin geführt worden, den Magnetismus als eine Flüſſigkeit von ganz eigenthümlicher Art zu betrachten, welche in der ponderabeln Maſſe der Magnete verbreitet iſt. Da wir nun aber zwei entgegengeſetzte magnetiſche Kräfte kennen gelernt haben, müſſen wir auch zwei entgegengeſetzte magnetiſche Flüſſigkeiten annehmen, von welchen die eine am einen, die andere am andern Pole vorherrſcht. In gleichnamigen Polen prädominirt dieſelbe Flüſſigkeit, und da ſie ſich abſtoßen, ſo müſſen wir ſchließen, daß jede Flüſſigkeit ſich ſelbſt abſtößt; ungleichnamige Pole aber enthalten die entgegengeſetzten Flüſſigkeiten, und dieſe ziehen ſich an.

Solche Flüſſigkeiten müſſen auch im Eiſen vorhanden ſeyn, denn wenn ſie von der ponderabeln Materie verſchieden ſind, ſo muß man annehmen, daß ſie nicht auf die materiellen Theilchen des Eiſens ſelbſt, wohl aber auf die in den Zwiſchenräumen der Molekûle enthaltene magnetiſche Flüſſigkeit wirken.

Ob nun wirklich ein ſolches magnetiſches Fluidum exiſtire, läßt ſich freilich durch ein ſolches Raiſonnement nicht darthun, wir halten aber an dieſer

Vorstellungsweise fest, weil wir bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Naturkenntniß keine bessere Theorie substituiren können. Unsere Theorie genügt dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, sie macht es möglich, alle die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkte zu vereinigen.

Unter dem Einfluß eines Magneten wird das Eisen selbst zum Magnet. 4

Um diese Eigenschaft des Eisens zu beweisen, kann man den Versuch so anstellen, wie Fig. 5 angedeutet ist. Ein Cylinder *f* von Eisen sey durch einen Magneten *a b* getragen; wenn man nun dem untern Ende dieses Cylinders Eisenfeile nähert, so hängt sie sich in Form eines Büschels an und bleibt so lange daran hängen, als der kleine Cylinder an dem Magneten hängt; sobald man ihn aber abreißt, fällt auch die Eisenfeile wieder ab, man beobachtet keine anziehende Kraft mehr. Man kann diese Erscheinung nicht der in die Ferne wirkenden Kraft des Magneten zuschreiben, denn wenn der kleine Cylinder nicht von Eisen wäre, so würde man dieses Phänomen nicht beobachten; man wird sich aber noch mehr davon überzeugen, wenn man beobachtet: 1) daß die Fäden der Eisenfeile vom Ende des kleinen Cylinders an immer kleiner werden, 2) daß sich gegen sein oberes Ende hin ein Punkt findet, wo die Eisenfeile gar nicht mehr anhängt, daß der kleine Cylinder also eine magnetische Mittellinie hat, 3) daß über diesem Punkte die Eisenfeile wieder anhängt, daß die Fäden aber eine entgegengesetzte Richtung haben. Der kleine Cylinder ist also ein förmlicher Magnet, er zieht Eisenfeile an, er hat zwei Pole und eine Mittellinie, nur fällt diese magnetische Mittellinie nicht mit der geometrischen Mitte zusammen.

Fig. 5.

Anstatt dem angehängten Cylinder Eisenfeile zu nähern, kann man einen ähnlichen Cylinder anhängen, Fig. 6, welcher auch getragen wird; an diesen kann man einen dritten hängen, welcher wieder einen vierten trägt u. s. w. Man kann auf diese Weise eine Kette bilden, deren erstes Glied der Magnet ist. Nimmt man dieses Glied weg, so fällt die ganze Kette auseinander, weil keine Kraft mehr da ist, welche die Glieder zusammenhält.

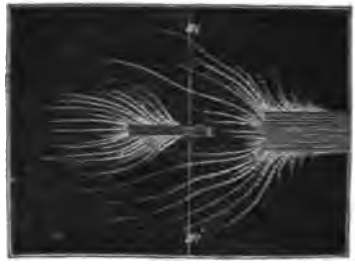
Fig. 6.

Fig. 7.

Man kann dasselbe beweisen, wenn man den kleinen Cylinder von Eisen in der Richtung der Längenaxe des Magneten an denselben anlegt und beide auf ein Blatt von weißem Papier bringt. Eisenfeile, welche man darauf streut, arrangirt sich regelmäßig und zeigt in *m m'* eine Mittellinie, welche die beiden ent-

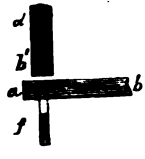
gegengeſetzten Actionen trennt, die nun im Eiſencylinder thätig ſind. Sobald man aber den Magneten wegzieht, hat die Eiſenfeile kein Beſtreben mehr ſich regelmäßig zu ordnen, noch das urſprüngliche Arrangement beizubehalten, was beweiſ't, daß das Eiſen ſeine magnetiſchen Eigenſchaften, die es unter dem Einfluſſe des Magneten angenommen hatte, wieder verliert. Wenn man den Verſuch modificirt, kann man beweiſen, daß das Eiſen nicht allein durch den unmittelbaren Contact mit dem Magneten die magnetiſchen Eigenſchaften erhält, ſondern daß es ſie ſchon in einiger Entfernung vom Magneten erhält, wie man Fig. 8 ſieht.

Fig. 8.



Das Eiſen enthält alſo, wie der Magnet ſelbſt, die beiden magnetiſchen Flüſſigkeiten, allein ſie ſind verbunden, die eine neutraliſirt die andere. Deshalb zeigt das Eiſen keine magnetiſchen Wirkungen, denn was die eine Flüſſigkeit anzieht, ſtößt die andere mit gleicher Kraft ab, die Geſammtwirkung iſt alſo Null. Wenn aber das Eiſen der Einwirkung eines Magneten ausgeſetzt wird, ſo werden die beiden Flüſſigkeiten von einander getrennt, die eine wird vom Magneten angezogen, die andere aber abgeſtoßen. Das Eiſen magnetiſiren heißt alſo: die magnetiſchen Flüſſigkeiten trennen. Der folgende Verſuch iſt ſehr geeignet, dies anſchaulich zu machen. Ein horizontaler Magnet $a\ b$ trägt an ſeinem Ende eine Eiſenmaſſe f, deren Gewicht der Grenze deſſen ziemlich nahe liegt, was der Magnet überhaupt zu tragen im Stande iſt. Ueber $a\ b$ nähert man nun einen anderen Magneten $a'\ b'$ von gleicher Stärke, aber ſo, daß die entgegengeſetzten Pole a und b' einander zugekehrt ſind. Wenn man nun dieſen zweiten Magneten auf die erwähnte Art allmälig nähert, ſo fällt das Eiſenſtück f herab. Die beiden Magnete zuſammengenommen können alſo nicht tragen, was jeder für ſich zu tragen vermag. Man ſieht den Grund davon leicht ein: der zweite Magnet zerſtört die Wirkungen des erſteren, indem er die Flüſſigkeiten der Eiſenmaſſe f in entgegengeſetztem Sinne zerlegt.

Fig. 9



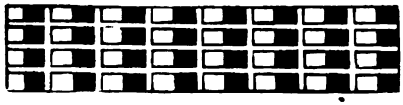
Die magnetiſche Flüſſigkeit geht weder von einem Magneten auf das Eiſen über, noch von einem Molekül des Eiſens auf das benachbarte. Mit einem Magneten kann man ſo viel und ſo oft Eiſenſtücke magnetiſch machen, als man nur will, ohne daß er auch nur im Mindeſten von ſeiner anziehenden Kraft verliert. Bei dieſer Operation geht alſo nichts von der magnetiſchen Flüſſigkeit auf das Eiſen über, weil

ſich ja ſonſt der Magnet erſchöpfen müßte. Ferner bemerkt man, daß ein Stück Eiſen, welches während der ganzen Zeit, in welcher es mit einem Magnete in Berührung bleibt, magnetiſch iſt, keine Spur von Magnetismus behält, wenn man es von dem Magneten wegnimmt, es kann alſo nichts auf das Eiſen übergegangen ſein. Endlich hat jeder Cylinder von Eiſen, ſo lange er mit dem Magneten in Berührung bleibt, eine Mittellinie und zwei Pole, woraus hervorgeht, daß er beide Flüſſigkeiten enthält, und doch könnte er ohne Zweifel von dem Magnete nur eine Flüſſigkeit erhalten, wenn überhaupt etwas von dem Magnete überginge. Die magnetiſche Flüſſigkeit geht alſo nicht von einem Körper zum andern über.

Man ſollte demnach denken, daß ſich die magnetiſchen Flüſſigkeiten in den magnetiſchen Körpern wie in vollkommen verſchloſſenen Gefäßen befänden, daß ſie ſich aber doch im Innern frei bewegen könnten; daß ſie alſo durch äußere Einwirkungen getrennt und jedes der beiden Fluida an einer anderen Stelle des Eiſens angehäuft werden könnte, ſo daß am einen Pol vorzugsweiſe die eine, am anderen Pole die andere Flüſſigkeit ſich vorfindet. Dieſe Vorſtellungsweiſe liegt wenigſtens am nächſten, wenn man die erwähnten Erſcheinungen der magnetiſchen Vertheilung betrachtet. Bei näherer Betrachtung ergiebt ſich jedoch bald, daß es nicht ſo iſt. Bringen wir einen Eiſendraht mit einem Magneten in Berührung, ſo wird er ſelbſt magnetiſch, und wenn die eben erwähnte Vorſtellung richtig wäre, ſo müßte ſich, wenn man den Draht nach ſeiner Mittellinie durchſchneidet, in jeder Hälfte nur eine Flüſſigkeit vorfinden. Es iſt aber nicht ſo; das Stück, welches am Magneten hängen bleibt, iſt noch immer ein vollſtändiger Magnet, das Stück aber, welches herabgefallen iſt, zeigt keine Spur von Magnetismus, es enthält alſo beide Fluida in gleichem Maaße, in gleichmäßiger Vertheilung. In dem abgeſchnittenen Drahtſtücke konnte alſo nicht die eine der beiden Flüſſigkeiten in dieſer Weiſe angehäuft ſeyn.

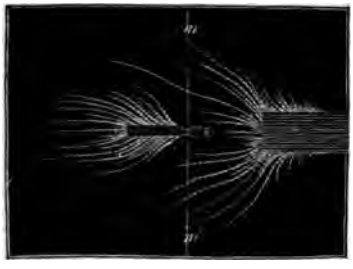
Die Erſcheinungen der magnetiſchen Vertheilung ſcheinen uns alſo zu unlöslichen Widerſprüchen zu führen, welche jedoch durch folgende Vorſtellungen gehoben werden. Die magnetiſchen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehen, ſie können aber in jedem Molekül für ſich getrennt werden, ſo daß man die Moleküle ſelbſt theilen müßte, wenn man jede der beiden Flüſſigkeiten iſolirt darſtellen wollte. Einen Magneten oder einen magnetiſirten Eiſenſtab müſſen wir uns, wie Fig. 10 anſchaulich macht, aus kleinen Theilchen zuſammengeſetzt denken, deren jedes die beiden Fluida, aber im getrennten Zuſtande, enthält; und zwar findet die Vertheilung der magnetiſchen Fluida in jedem Theile in der Weiſe Statt,

Fig. 10.



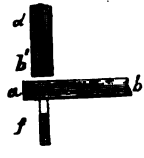
gegengeſetzten Actionen trennt, die nun im Eiſencylinder thätig ſind. Sobald man aber den Magneten wegzieht, hat die Eiſenfeile kein Beſtreben mehr ſich regelmäßig zu ordnen, noch das urſprüngliche Arrangement beizubehalten, was beweiſ't, daß das Eiſen ſeine magnetiſchen Eigenſchaften, die es unter dem Einfluſſe des Magneten angenommen hatte, wieder verliert. Wenn man den Verſuch modificirt, kann man beweiſen, daß das Eiſen nicht allein durch den unmittelbaren Contact mit dem Magneten die magnetiſchen Eigenſchaften erhält, ſondern daß es ſie ſchon in einiger Entfernung vom Magneten erhält, wie man Fig. 8 ſieht.

Fig. 8.



Das Eiſen enthält alſo, wie der Magnet ſelbſt, die beiden magnetiſchen Flüſſigkeiten, allein ſie ſind *verbunden*, die eine neutraliſirt die andere. Deshalb zeigt das Eiſen keine magnetiſchen Wirkungen, denn was die eine Flüſſigkeit anzieht, ſtößt die andere mit gleicher Kraft ab, die Geſammtwirkung iſt alſo Null. Wenn aber das Eiſen der Einwirkung eines Magneten ausgeſetzt wird, ſo werden die beiden Flüſſigkeiten von einander getrennt, die eine wird vom Magneten angezogen, die andere aber abgeſtoßen. Das Eiſen magnetiſiren heißt alſo: die magnetiſchen Flüſſigkeiten trennen. Der folgende Verſuch iſt ſehr geeignet, dies anſchaulich zu machen. Ein horizontaler Magnet $a\,b$ trägt an ſeinem Ende eine Eiſenmaſſe f, deren Gewicht der Grenze deſſen ziemlich nahe liegt, was der Magnet überhaupt zu tragen im Stande iſt. Ueber $a\,b$ nähert man nun einen anderen Magneten $a'\,b'$ von gleicher Stärke, aber ſo, daß die entgegengeſetzten Pole a und b' einander zugekehrt ſind. Wenn man nun dieſen zweiten Magneten auf die erwähnte Art allmälig nähert, ſo fällt das Eiſenſtück f herab. Die beiden Magnete zuſammengenommen können alſo nicht tragen, was jeder für ſich zu tragen vermag. Man ſieht den Grund davon leicht ein: der zweite Magnet zerſtört die Wirkungen des erſteren, indem er die Flüſſigkeiten der Eiſenmaſſe f in entgegengeſetztem Sinne zerlegt.

Fig. 9



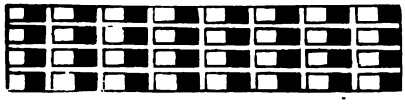
Die magnetiſche Flüſſigkeit geht weder von einem Magneten auf das Eiſen über, noch von einem Molekül des Eiſens auf das benachbarte. Mit einem Magneten kann man ſo viel und ſo oft Eiſenſtücke magnetiſch machen, als man nur will, ohne daß er auch nur im Mindeſten von ſeiner anziehenden Kraft verliert. Bei dieſer Operation geht alſo nichts von der magnetiſchen Flüſſigkeit auf das Eiſen über, weil

ſich ja ſonſt der Magnet erſchöpfen müßte. Ferner bemerkt man, daß ein Stück Eiſen, welches während der ganzen Zeit, in welcher es mit einem Magnete in Berührung bleibt, magnetiſch iſt, keine Spur von Magnetismus behält, wenn man es von dem Magneten wegnimmt, es kann alſo nichts auf das Eiſen übergegangen ſein. Endlich hat jeder Cylinder von Eiſen, ſo lange er mit dem Magneten in Berührung bleibt, eine Mittellinie und zwei Pole, woraus hervorgeht, daß er beide Flüſſigkeiten enthält, und doch könnte er ohne Zweifel von dem Magnete nur eine Flüſſigkeit erhalten, wenn überhaupt etwas von dem Magnete überginge. Die magnetiſche Flüſſigkeit geht alſo nicht von einem Körper zum andern über.

Man ſollte demnach denken, daß ſich die magnetiſchen Flüſſigkeiten in den magnetiſchen Körpern wie in vollkommen verſchloſſenen Gefäßen befänden, daß ſie ſich aber doch im Innern frei bewegen könnten; daß ſie alſo durch äußere Einwirkungen getrennt und jedes der beiden Fluida an einer anderen Stelle des Eiſens angehäuft werden könnte, ſo daß am einen Pol vorzugsweiſe die eine, am anderen Pole die andere Flüſſigkeit ſich vorfindet. Dieſe Vorſtellungsweiſe liegt wenigſtens am nächſten, wenn man die erwähnten Erſcheinungen der magnetiſchen Vertheilung betrachtet. Bei näherer Betrachtung ergiebt ſich jedoch bald, daß es nicht ſo iſt. Bringen wir einen Eiſendraht mit einem Magneten in Berührung, ſo wird er ſelbſt magnetiſch, und wenn die eben erwähnte Vorſtellung richtig wäre, ſo müßte ſich, wenn man den Draht nach ſeiner Mittellinie durchſchneidet, in jeder Hälfte nur eine Flüſſigkeit vorfinden. Es iſt aber nicht ſo; das Stück, welches am Magneten hängen bleibt, iſt noch immer ein vollſtändiger Magnet, das Stück aber, welches herabgefallen iſt, zeigt keine Spur von Magnetismus, es enthält alſo beide Fluida in gleichem Maaße, in gleichmäßiger Vertheilung. In dem abgeſchnittenen Drahtſtücke konnte alſo nicht die eine der beiden Flüſſigkeiten in dieſer Weiſe angehäuft ſeyn.

Die Erſcheinungen der magnetiſchen Vertheilung ſcheinen uns alſo zu unlöslichen Widerſprüchen zu führen, welche jedoch durch folgende Vorſtellungen gehoben werden. Die magnetiſchen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehen, ſie können aber in jedem Molekül für ſich getrennt werden, ſo daß man die Molekule ſelbſt theilen müßte, wenn man jede der beiden Flüſſigkeiten iſolirt darſtellen wollte. Einen Magneten oder einen magnetiſirten Eiſenſtab müſſen wir uns, wie Fig. 10 anſchaulich

Fig. 10.



macht, aus kleinen Theilchen zuſammengeſetzt denken, deren jedes die beiden Fluida, aber im getrennten Zuſtande, enthält; und zwar findet die Vertheilung der magnetiſchen Fluida in jedem Theile in der Weiſe Statt,

daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach
kehrt ist. An dem linken Ende des Fig. 10 darg
also nur die eine, am rechten Ende nur die andere
die Polarität des Magneten ist also erklärt. Man beg
stellungsweise recht gut, daß man einen Magneten in
kann und daß jedes Stück für sich wieder ein vollstä

6 **Der Stahl nimmt alle magnetischen Eigen**

kann zu den oben erwähnten Versuchen Feilspähne
anwenden wie Eisenfeile.

Die Stahlfeile hängt sich an den Magneten an u
merklicher Länge, nur ist die Einwirkung des Mag
feile etwas langsamer. Nimmt man aber Stahlstü
Volumen und namentlich Stücke von gut gehärteten
ein ganz anderes Verhalten als Eisen, denn es schein
nur schwach auf sie einwirkte. Wiederholt man den

Fig. 11.

Versuch mit Cylindern von
schon der erste Cylinder nicht
kann mit Stahl keine so lan
mit Eisen. Da jedoch keine
werden, so können wir unmö
ein größeres Stück dieser Substanz gegen den Magne
empfindlich seyn soll. In der That, wenn man ei
Zeit, etwa $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ Stunde, mit dem Magneten in Ber
man, daß es durch und durch magnetisch geworden i
Kraft nimmt mit der Dauer der Berührung zu, und
ebenso magnetisch wie das Eisen. Man kann die läng
auch dadurch ersetzen, daß man das Stahlstück mit ei
mals in einerlei Richtung bestreicht. Der gehärtete
charakteristische Eigenschaft, daß er nur durch läng
mit dem Magneten oder durch wiederholtes Streichen
tisch gemacht werden kann. Eine zweite charakteri
Stahls ist es aber, daß, wenn er einmal magneti
magnetisch bleibt, was beim Eisen nicht der Fall ist.
sen, braucht man nur ein Stahlstück, welches man
gestrichen hat, in Eisenfeile zu legen, und man wird
es seine Mittellinie und seine beiden Pole hat. Wie
such einen Tag, einen Monat, ein Jahr nachher, so
das Stahlstück nichts an magnetischer Kraft verloren
erwähnte Weise behandeltes Stück Stahl hat für im
schen Eigenschaften eines Magneten.

Weil der Stahl ursprünglich der magnetischen Ein

haben, dieſelben mehr oder weniger in allen Verbindungen behalten, welche ſie eingehen. In der That ſind ſehr viele eiſenhaltige Körper magnetiſch, und zwar um ſo mehr, je größer der Eiſengehalt iſt; es giebt jedoch auch viele Eiſenverbindungen, und namentlich ſolche, die verhältnißmäßig weniger Eiſen enthalten, welche durchaus nicht magnetiſch ſind. Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan ſind außer dem Eiſen die einzigen einfachen Körper, welche magnetiſch werden können; dieſe Eigenſchaft verſchwindet aber in den meiſten ihrer chemiſchen Verbindungen faſt gänzlich.

Zweites Kapitel.

Von der magnetiſchen Wirkung der Erde.

Richtung der Magnete, Declination und Inclination. Eine an 8
einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze bewegliche Magnetnadel iſt nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, ſie nimmt eine beſtimmte Stellung ein, indem ſie ſich gegen einen beſtimmten Punkt des Horizonts richtet. Wenn man ſie aus dieſer Lage herausbringt, ſo kehrt ſie doch immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieſelbe zurück. Die Kraft, welche die Nadel immer wieder in dieſe Lage zurückführt, iſt eine magnetiſche; denn eine nicht magnetiſirte Nadel zeigt nichts der Art. Dieſe merkwürdige Eigenſchaft der Magnetnadeln beobachtet man überall; in allen Welttheilen, auf allen Meeren, auf den höchſten Gipfeln der Berge und in den tiefſten Schachten, überall nimmt die Magnetnadel eine beſtimmte Richtung an, in welche ſie immer wieder zurückkehrt, wenn man ſie auch daraus entfernt. Es giebt alſo eine magnetiſche Kraft, welche an allen Punkten der Erdoberfläche thätig iſt, denn die Magnetnadeln können ſich nicht ſelbſt richten, ſo wenig wie ſich ein Körper ſelbſt in Bewegung ſetzen kann; in beiden Fällen iſt die Einwirkung einer äußern Kraft nöthig.

Wir können durch einen einfachen Verſuch darthun, daß dieſe richtende Kraft ganz in der Art wirkt wie ein Magnet und nicht wie eine Eiſenmaſſe. Wenn man die Pole einer Magnetnadel ganz und gar umkehrt, ſo iſt ſie in ihrer neuen Lage nicht im Gleichgewichte, ſie wird einen vollſtändigen Halbkreis beſchreiben, um wieder in die Gleichgewichtslage zurückzukehren und ihre urſprüngliche Richtung wieder anzunehmen. Die richtende Kraft unterſcheidet alſo die Pole, und, gerade wie ein Magnet, zieht ſie den einen Pol an und ſtößt den andern ab, während das Eiſen ſowohl den einen als auch den andern Pol eines Magneten mit gleicher Stärke anzieht.

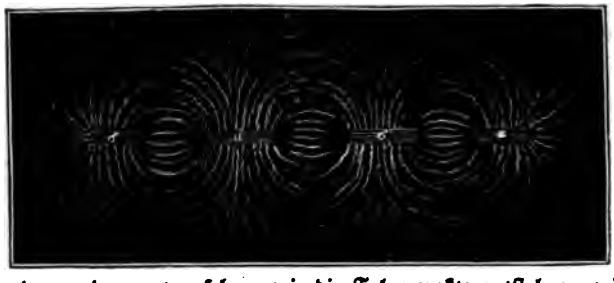
weder in ihrer Mitte ein Achathütchen, welches man auf eine feine Stahlspitze setzt, oder sie wird an einem Faden aufgehangen. Manchmal besteht die Magnetnadel aus einem einfachen Stahldraht, einem Cylinder oder einem in die Länge gezogenen Prisma. Wenn die Dimensionen der Nadel zu groß sind, so reicht es, um sie zu magnetisiren, nicht mehr hin, sie einige Mal an einem Magneten herzustreichen, man muß in diesem Falle zu besonderen Verfahrungsarten seine Zuflucht nehmen, welche wir weiter unten näher werden kennen lernen.

Es kommt manchmal vor, daß ein Magnet mehr als zwei Pole hat, welche man Folgepunkte nennt. Ihre Gegenwart läßt sich durch eine Probenadel nachweisen, wie man Fig. 13 sieht. Wenn diese horizontal hängt, so nähert man ihr den zu prüfenden Stab in vertikaler Stellung, bewegt ihn auf und nieder, so daß alle seine Punkte der Reihe nach an demselben Pole der beweglichen Nadel vorübergehen. Wenn keine Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man nur einmal Anziehung und einmal Abstoßung. Wenn aber ein Folgepunkt vorhanden ist, so beobachtet man zwei Abwechselungen, z. B. eine Anziehung, eine Abstoßung und dann wieder eine Anziehung. Wenn zwei Folgepunkte vorhanden sind, so beobachtet man einen dreimaligen Wechsel ꝛc.

Fig. 13.

Die Folgepunkte können aber auch noch dadurch sichtbar gemacht werden, daß man den Magneten in Eisenfeile taucht, oder daß man ihn unter ein Papierblatt legt, auf welches man Eisenfeile fallen läßt, wo man dann die Erscheinung Fig. 14 beobachtet.

Fig. 14.



Wir werden weiter unten sehen, wie die Folgepunkte entstehen, wie man sie wegbringen und vermeiden kann, was für die Construction der Bousselen von der größten Wichtigkeit ist.

7 **Von den verschiedenen magnetischen Substanzen.** Da die magnetischen Fluida nicht von einem Körper zum andern übergehen, da sie gewissermaßen an die Molekule der ponderabeln Materie gebunden sind, so folgt, daß diejenigen einfachen Körper, welche magnetische Eigenschaften

haben, dieselben mehr oder weniger in allen Verbindungen behalten, welche sie eingehen. In der That sind sehr viele eisenhaltige Körper magnetisch, und zwar um so mehr, je größer der Eisengehalt ist; es giebt jedoch auch viele Eisenverbindungen, und namentlich solche, die verhältnißmäßig weniger Eisen enthalten, welche durchaus nicht magnetisch sind. Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan sind außer dem Eisen die einzigen einfachen Körper, welche magnetisch werden können; diese Eigenschaft verschwindet aber in den meisten ihrer chemischen Verbindungen fast gänzlich.

Zweites Kapitel.

Von der magnetischen Wirkung der Erde.

Richtung der Magnete, Declination und Inclination. Eine an 8
einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze bewegliche Magnetnadel ist nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, sie nimmt eine bestimmte Stellung ein, indem sie sich gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts richtet. Wenn man sie aus dieser Lage herausbringt, so kehrt sie doch immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieselbe zurück. Die Kraft, welche die Nadel immer wieder in diese Lage zurückführt, ist eine magnetische; denn eine nicht magnetisirte Nadel zeigt nichts der Art. Diese merkwürdige Eigenschaft der Magnetnadeln beobachtet man überall; in allen Welttheilen, auf allen Meeren, auf den höchsten Gipfeln der Berge und in den tiefsten Schachten, überall nimmt die Magnetnadel eine bestimmte Richtung an, in welche sie immer wieder zurückkehrt, wenn man sie auch daraus entfernt. Es giebt also eine magnetische Kraft, welche an allen Punkten der Erdoberfläche thätig ist, denn die Magnetnadeln können sich nicht selbst richten, so wenig wie sich ein Körper selbst in Bewegung setzen kann; in beiden Fällen ist die Einwirkung einer äußern Kraft nöthig.

Wir können durch einen einfachen Versuch darthun, daß diese richtende Kraft ganz in der Art wirkt wie ein Magnet und nicht wie eine Eisenmasse. Wenn man die Pole einer Magnetnadel ganz und gar umkehrt, so ist sie in ihrer neuen Lage nicht im Gleichgewichte, sie wird einen vollständigen Halbkreis beschreiben, um wieder in die Gleichgewichtslage zurückzukehren und ihre ursprüngliche Richtung wieder anzunehmen. Die richtende Kraft unterscheidet also die Pole, und, gerade wie ein Magnet, zieht sie den einen Pol an und stößt den andern ab, während das Eisen sowohl den einen als auch den andern Pol eines Magneten mit gleicher Stärke anzieht.

Wo findet ſich aber der Mittelpunkt dieſer magnetiſchen Wirkung, welche ſo allgemein über die ganze Erde verbreitet iſt? Dieſe Frage ſcheint ſehr ſchwer zu beantworten, und ſie bildete früher den Gegenſtand mannigfacher Discuſſionen unter den Phyſikern. Einige ſetzten ihn mit Cardanus in einen kleinen Stern im Schwanz des großen Bären; Andere ſetzten ihn in den Pol des Ekliptik; Andere, denen ſogar der Himmel zu eng war, nahmen jenſeits der Geſtirne einen Anziehungsmittelpunkt an, von wo aus die Kraft, welche die Magnetnadel richtet, auf die Erde gelangt. Gilbert endlich, welcher gegen das Ende des 16ten Jahrhunderts ein Werk de magnete magneticisque corporibus et magno magnete Tellure ſchrieb, machte allen dieſen oberflächlichen Hypotheſen ein Ende, indem er, ſoweit es damals möglich war, bewies, daß die Erdkugel ſelbſt ein Magnet iſt, und daß ihre Einwirkung es ſey, welche die Magnetnadel richtet.

Indem man alle die verſchiedenen Beobachtungen zuſammenfaßt, welche an verſchiedenen Orten gemacht worden ſind, wird man wirklich dahin geleitet, die Erde als einen großen Magneten anzuſehen, deſſen Mittellinie in den Aequatorialgegenden liegt. Dies giebt uns ein Mittel, die beiden Pole eines Magneten paſſend zu bezeichnen.

Die beiden Pole des großen Erdmagneten fallen in die Nähe der Pole der Erdachſe, man nennt deshalb den einen Pol den magnetiſchen Nordpol, den andern den Südpol. Nun aber ziehen ſich die ungleichnamigen Pole an, eine Magnetnadel wird alſo ihren Südpol nach Norden und ihren Nordpol nach Süden kehren.

Dieſe Bezeichnung der Pole iſt jedoch nicht allgemein angenommen; Andere nämlich bezeichnen die Pole einer Magnetnadel gerade auf die entgegengeſetzte Weiſe, indem ſie denjenigen Pol, welcher nach Norden gekehrt iſt, auch den Nordpol nennen.

Wenn man an einem und demſelben Orte zwei Magnetnadeln in ſolcher Entfernung von einander aufhängt, daß ſie keinen Einfluß auf einander ausüben können, ſo nimmt jede eine Richtung an, welche mit der der andern parallel iſt. Für ſolche Orte der Erde aber, welche um mehrere Längen- oder Breitengrade von einander entfernt ſind, findet dieſer Parallelismus nicht mehr Statt. Es iſt nun von der größten Wichtigkeit, die Richtung der Magnetnadel beſtimmen zu können, d. h. ſie mit Linien von unveränderlicher Lage zu vergleichen, um auch an einem und demſelben Orte die Variationen zu ermitteln, welche die Richtung der Magnetnadel im Laufe der Zeit erleidet, und welche Beziehungen zwiſchen der Richtung der Magnetnadel an verſchiedenen Orten ſtattfindet.

Der magnetiſche Meridian iſt diejenige vertikale Ebene, welche man ſich durch die Richtungslinie eines horizontalen Magneten zerlegt denken kann, oder auch nur der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Erdoberfläche.

Der magnetiſche Meridian eines Ortes macht nun mit dem aſtronomiſchen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination iſt öſtlich oder weſtlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der andern Seite des aſtronomiſchen Meridians abweicht. In Fig. 15 z. B. ſtellt *sn* den Meridian eines Ortes dar, *ab* aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demſelben Orte. Die weſtliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 18° 37′ 30,55″; wir werden bald ſehen, daß die Declination mit der Zeit ſich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollſtändig mit dem Meridian zuſammenfällt; an dieſen Orten iſt natürlich die Declination gleich Null.

Fig. 15.

Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu meſſen, heißt eine Declinationsbouſſole.

Fig. 16 ſtellt eine ſolche Bouſſole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgeſetzt iſt, iſt der Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreiſes, welcher um eine vertikale Axe in ſeiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuſes iſt ein Fernrohr angebracht, deſſen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man ſich vom Nullpunkte des getheilten Kreiſes über ſeinen Mittelpunkt zum Theilſtriche 180′ gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in ſeiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel bei andere Theilſtriche zu ſtehen kommen. Wenn man den Apparat ſo ſtellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, ſo iſt die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, ſie fällt mit dem magnetiſchen Meridian zuſammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilſtrich des Kreiſes, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man alſo das Fernrohr genau in den aſtronomiſchen Meridian bringt, ſo kann man auf dem Theilkreiſe ableſen, welchen Winkel der magnetiſche Meridian mit dem aſtronomiſchen macht.

Fig. 16.

Dieſes Inſtrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinſtrument dienen, weil man mit Hülfe deſſelben jederzeit den Winkel beſtimmen kann,

welchen die Viſirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetiſchen Meridian macht.

Die Declinationsbouſſole, deren ſich die Seefahrer bedienen, iſt unter dem Namen des Compaſſes bekannt.

Im Ganzen nähert ſich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Norden nach Süden als von Oſten nach Weſten, daher man denn gewöhnlich ſagt, die Magnetnadel zeigt nach Norden.

Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, ſind in einer Weiſe aufgehängt, daß ſie ſich nur in einer horizontalen Ebene, alſo um eine vertikale Axe drehen können. Sowohl bei der Fig. 4, als auch Fig. 12 dargeſtellten Aufhängung iſt die horizontale Stellung dadurch geſichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte ſelbſt aufhängt, ſo bleibt ſie nicht mehr wagerecht ſtehen, ſondern ſie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 17 abgebildete Apparat iſt ſehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Meſſing, welcher an einem Faden aufgehängt iſt, befindet ſich eine ſehr leicht bewegliche horizontale Axe *a b*, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man ſieht, daß eine ſo aufgehängte Magnetnadel um eine vertikale und um eine horizontale Axe ſich drehen und alſo dem richtenden Einfluſſe der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel ſtellt ſich nun ſo, daß ihre Richtungslinie in den magnetiſchen Meridian fällt, das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber ſenkt ſich, die Richtungslinie der Nadel macht alſo einen Winkel mit der Horizontalen, der in unſeren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

Fig. 17.

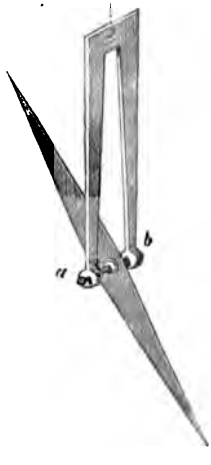
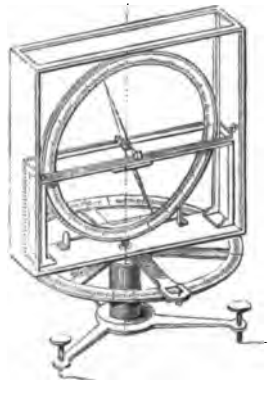


Fig. 18.



Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Vertikalkreiſe, deſſen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zuſammenfällt, angebracht iſt, wie Fig. 18, ſo kann man auf dieſem Kreiſe die Größe der Inclination ableſen, wenn man dafür ſorgt, daß die Ebene des Vertikalkreiſes genau in den magnetiſchen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu meſſen, heißen Inclinatorien oder Inclinationsbouſſolen.

Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; an manchen Orten nimmt die Inclinationsnadel eine faſt ſenkrechte Stellung an; ſo beobachtete z. B. Kapitän Philipps im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination von 88° 43′. Kapitän Roß endlich hat den magnetiſchen Nordpol der Erde ſelbſt erreicht. Unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ öſtlich von Greenwich fand er die Declination 90°. Die Neigung der Magnetnadel iſt in hohen Breiten ſo bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer ſeine Brauchbarkeit verliert, wie durch die letzten Nordpolexpeditionen bewieſen iſt.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, deſto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null iſt, wo alſo die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht ſteht; geht man noch weiter nach Süden, ſo beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengeſetzte, es iſt nun das nach Süden gekehrte Ende, welches ſich tiefer ſtellt. Dieſe Inclination nimmt nun ebenfalls mit der ſüdlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem ſich die Inclinationsnadel völlig vertikal ſtellt, und dies iſt der magnetiſche Südpol der Erde.

In welcher geographiſchen Länge man auch die Aequatorialzone paſſiren mag, ſo wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht ſteht. Dieſe Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Kurve, welche man den magnetiſchen Aequator nennt.

Der magnetiſche Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zuſammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel. Die größte ſüdliche Breite erreicht er im atlantiſchen Ocean, ohngefähr 28° weſtlich von Paris, wo er ſich 14° ſüdlich vom Erdäquator findet. Mehr nach Weſten hin nähert ſich der magnetiſche Aequator dem Erdäquator und erreicht ihn 120° weſtl. von Paris; hier aber tritt er nicht auf die nördliche Halbkugel, ſondern wendet ſich abermals nach Süden, um 160° weſtl. von Paris ein zweites ſüdliches Maximum von 3° 75′ zu erreichen. Im 174ſten Längengrade ſchneidet er den Erdäquator und bleibt von da auf der nördlichen Halbkugel, um 18° öſtlich von Paris den Erdäquator abermals zu ſchneiden. Der magnetiſche Aequator hat 62° öſtlich von Paris eine nördliche Breite von 11° 47′; 150° öſtlich von Paris iſt ſeine nördliche Breite 7° 44′; 130° öſtlich von Paris iſt ſie 8° 57′. Dieſe Angaben reichen hin, um im Allgemeinen die Lage des magnetiſchen Aequators zu beſtimmen

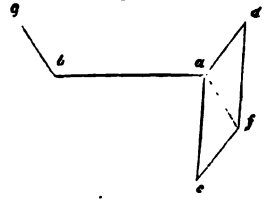
und die Unregelmäßigkeit ſeines Laufs zu zeigen, für die man bis jetzt noch keinen genügenden Grund anzugeben weiß.

9 **Die Wirkung der Erde auf einen Magneten kann als ein Syſtem von parallelen und entgegengeſetzten Kräften betrachtet werden.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, iſt nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, ſo müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da ſie noch nicht magnetiſch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Waſſer ſchwimmt, ſo ſtellt ſie ſich in den magnetiſchen Meridian, ſie zeigt aber kein Beſtreben, nach Norden zu ſchwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der ſchwimmenden Nadel einen Magnet, ſo findet entweder eine Anziehung oder eine Abſtoßung Statt, je nachdem man ſich mit dem einen oder dem andern Pol des Magneten nähert; die Nadel ſchwimmt dem Magneten entweder zu oder von ihm weg. Warum ſchwimmt nun die Nadel nicht dem magnetiſchen Nordpol zu, wenn ſich doch die Erde nicht anders als ein großer Magnet verhält? Der Grund iſt folgender: Die Kraft der magnetiſchen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald ſehen werden. Wenn man nun einen Magneten der ſchwimmenden Nadel nähert, ſo ſind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pole des Magneten entfernt, folglich muß entweder die abſtoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetiſche Nordpol der Erde iſt aber nun von der ſchwimmenden Nadel ſo außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen dieſe Entfernung eine völlig verſchwindende Größe iſt, der eine Pol der Nadel wird alſo eben ſo ſtark angezogen als der andere abgeſtoßen wird.

Nehmen wir das Wort Pol in der dritten der oben angegebenen Bedeutungen, nämlich als Mittelpunkt der magnetiſchen Kraft, ſo ſind wir nicht im Stande, die Lage der magnetiſchen Pole der Erde zu beſtimmen, wir können nur ermitteln, wo ungefähr die magnetiſche Erdaxe die Oberfläche der Erde trifft, alſo die beiden Endpunkte des großen Erdmagneten. Welches aber auch die Lage der magnetiſchen Pole der Erde (der Mittelpunkte der magnetiſchen Kräfte) ſeyn mag, ſo üben doch beide einen Einfluß auf die beiden Pole des Magneten aus. Es ſey Fig. 19 eine Magnetnadel, a der eine, b der andere Pol derſelben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol a in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie ac darſtellen wollen. Auf denſelben

Fig. 19.



Pol a der Nadel wirkt aber der Südpol der Erde abſtoßend in der Richtung ad (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unſeren Gegenden dem magnetiſchen Nordpol der Erde näher ſind als dem Südpol, ſo iſt die Anziehung ſtärker als die Abſtoßung; die beiden Kräfte verbinden ſich nach dem Geſetze des Parallelogramms der Kräfte zu einer Reſultirenden af. Auf den Pol b der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abſtoßend, und zwar in derſelben Richtung und mit derſelben Stärke, wie er den Pol a anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol b in derſelben Richtung und mit derſelben Stärke an, wie er den andern abſtößt. Die beiden Kräfte, welche den Pol b angreifen, ſind alſo den beiden in a angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengeſetzt, mithin muß auch ihre Reſultirende bg der Reſultirenden af parallel, gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengeſetzten Kräften angegriffen wird, ſo werden ſie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können, die Nadel befindet ſich aber in ihrer Gleichgewichtslage, wenn die magnetiſche Axe der Nadel, d. h. die Verbindungslinie der Pole a und b in die Richtung der Reſultirenden af und bg fällt, wenn alſo auch af in der Verlängerung von bg liegt.

Dieſe Gleichgewichtslage beobachten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Reſultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetiſchen Kräfte der Erde zuſammen.

Bei der Declinationsnadel iſt ein Theil der Wirkung der magnetiſchen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt iſt, aufgehoben, bei der Declinationsnadel kommt nur die horizontale Compoſante der die Nadel richtenden magnetiſchen Erdkraft zur Wirkung, und dieſe horizontale Compoſante wird natürlicher Weiſe um ſo geringer ſeyn, je mehr die Inclination der Nadel wächſt. Je weiter man ſich alſo vom magnetiſchen Aequator entfernt, um ſo geringer iſt die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

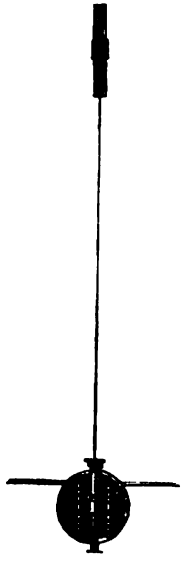
Meſſung der Declination und Inclination. Die Beſchreibung 10
der Declinationsbouſſolen, welche man ſonſt zur genauen Beſtimmung der magnetiſchen Declination anwandte, können wir füglich hier übergehen, weil ſie für dieſen Zweck wenigſtens durch die von Gauß angegebene Methode, vermittelſt welcher man die Declination mit aſtronomiſcher Genauigkeit meſſen kann, völlig entbehrlich geworden ſind. Was die Anwendung der Bouſſolen als Winkelmeßinſtrumente betrifft, ſo gehört dies nicht hierher, und die Anwendung der Magnetnadel im Compaß iſt hinreichend bekannt, ſo daß es hier wohl genügt, denſelben zu nennen.

Gauß wendet zu ſeinen Verſuchen ſtatt der kleinen Nadeln Magnetſtäbe von *bedeutenden Dimenſionen an. Er wandte* Stäbe an, welche 5, ja

ſolche, welche 25 Pfund wogen. Die Mitte des Stabes ſteckt in einer Hülſe von Meſſing, welche von einem in der Mitte der Decke des Saals befeſtigten 200fachen 7 Fuß langen ungedrehten Seidenfaden oder von einem Metallfaden getragen wird. Der Stab trägt an ſeinem nördlichen oder ſüdlichen Ende einen Planſpiegel, deſſen Ebene mit der magnetiſchen Axe des Stabes einen rechten Winkel macht.

Dem Spiegel gegenüber iſt in einer Entfernung von 16 Fuß ein Theodolith aufgeſtellt, ungefähr wie es in Fig. 20 angedeutet iſt. Die optiſche Axe des Fernrohrs iſt etwas höher als die Nadel und ſo abwärts geneigt, daß ſie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet iſt.

Fig. 20.



Am Stativ des Theodolithen iſt eine 4 Fuß lange, in Millimeter getheilte horizontale Scala befeſtigt, die auf der Richtung des magnetiſchen Meridians rechtwinklig ſteht. Derjenige Punkt der Scala, welcher mit der optiſchen Axe des Fernrohrs in einer Vertikalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heißen mag, wird durch einen von der Mitte des Objectivs herabhängenden, mit einem Gewicht beſchwerten feinen Goldfaden bezeichnet. Die Scala iſt in einer ſolchen Höhe befeſtigt, daß das Bild eines Theils derſelben im Spiegel durch das Fernrohr geſehen wird.

Wenn nun die magnetiſche Axe des Stabes und die Horizontalprojection der optiſchen Axe des Fernrohrs zuſammenfallen, ſo wird das Bild des Nullpunkts genau in der optiſchen Axe des Fernrohrs erſcheinen. Wenn alle dieſe Bedingungen erfüllt ſind, ſo iſt die Vertikalebene des Fernrohrs auch genau die des magnetiſchen Meridians, und man hat nun auch auszumitteln, welchen Winkel die Vertikalebene des Fernrohrs mit dem aſtronomiſchen Meridian macht.

Wenn aber dieſe Bedingungen nicht genau erfüllt ſind, wenn die Axe des Magneten nicht in die Vertikalebene des Fernrohrs fällt, ſondern etwas davon abweicht, ſo erſcheint auch nicht mehr der Nullpunkt der Scala in der Axe des Fernrohrs, ſondern irgend ein anderer Theilſtrich. Wenn die Entfernung des Spiegels von der Scala genau gemeſſen iſt, ſo läßt ſich der Betrag der Scalentheile leicht in Winkel reduciren. Bei dem eben beſprochenen Apparate beträgt 1 Scalentheil 22 Sekunden, und da ein nur etwas geübtes Auge ein ſolches Intervall noch leicht in 10 Theile theilt, ſo kann man die Abweichung des Stabes von der Vertikalebene des Fernrohrs noch auf 2 Sekunden genau ausmitteln und alſo auch den Winkel,

den die Axe des Stabes mit dem aſtronomiſchen Meridian macht, auf's genaueſte meſſen.

Wenn man die Inclination der Magnetnadel meſſen will, ſo muß die horizontale Axe der Inclinationsnadel durch den Mittelpunkt eines getheilten Kreiſes gehen, deſſen Durchmeſſer der Länge der Nadel gleich iſt wie Fig. 18. Man kann an dieſem getheilten Kreiſe den Winkel ableſen, welchen die Nadel mit der Horizontalen macht. Wenn dieſe Ableſung den wahren Werth der Inclination geben ſoll, ſo muß natürlich die Nadel mit dem getheilten Kreiſe ſich genau im magnetiſchen Meridian befinden. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt außerordentlich delicat, weil es ſehr ſchwer hält, eine Magnetnadel genau in ihrem Schwerpunkt zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Deshalb kann auch die Inclination mittelſt ſolcher Inclination ungleich weniger genau beſtimmt werden, als die Declination.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeſchrieben, der wenigſtens im Jahre 1576 ein Inclinatorium conſtruirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm iſt auch die Entdeckung des Geſetzes zuzuſchreiben, daß gleichnamige Polaritäten ſich abſtoßen, ungleichnamige ſich anziehen.

Variationen der Declination und Inclination. Die Declination 11
iſt eben ſo wenig wie die Inclination unveränderlich, wie man leicht aus den folgenden Tabellen erſieht, welche die Größe der Declination und Inclination angeben, wie ſie zu verſchiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ öſtl.	1814	22° 34′ weſtl.
1618	8 »	1816	22 25 »
1663	0 »	1825	22 22 »
1700	8 10 weſtl.	1828	22 5 »
1780	19 55 »	1832	22 3 »
1805	22 5 »	1835	22 4 »

Man ſieht aus dieſer Tabelle

1) daß von 1580 an die Declination ſich um mehr als 30° geändert hat;
2) daß ſie im Jahre 1663 Null war;
3) daß ſie bis 1814 immer nach Weſten vorſchritt;
4) daß ſie von 1814 an eine retrograde Bewegung nach Oſten hin erlitten hat.

Die Inclination ändert ſich eben ſo wie die Declination im Laufe der Zeit, wie man aus folgender Tabelle ſieht.

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

Wenn auch die früheren Beſtimmungen nicht ſehr genau ſind, ſo iſt doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewieſen.

Die angeführten Veränderungen der Declination und Inclination nennt man ſeculare Variationen.

Wenn man eine Declinationsnadel aufmerkſam beobachtet, ſo findet man, daß ſie fortwährenden Schwankungen unterworfen iſt, indem ſie ſich bald öſtlich, bald weſtlich von ihrer mittlern Lage entfernt. Die Schwankungen ſind bald zufällig und plötzlich, bald regelmäßig und periodiſch. — Die erſteren nennt man Störungen, die letzteren tägliche Variationen. Im Allgemeinen beobachtet man z. B. in Paris folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht iſt die Nadel faſt ſtationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an, ſich nach Weſten zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die weſtliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Oſten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwiſchen dem öſtlichen und weſtlichen Stande der Nadel, iſt veränderlich; ſie iſt in den Sommermonaten am größten. Ihr Mittelwerth beträgt vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

Die Mittelwerthe für die Amplitude in verſchiedenen Monaten ſind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . .	6,7,	Juli	12,1′
Februar . .	7,4,	Auguſt. . .	13,0
März . . .	11,9,	September	11,8
April. . . .	13,9,	October . .	10,3
Mai	13,5,	November.	6,9
Juni. . . .	12,5,	December .	5,0.

In nördlichen Gegenden ſind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmäßig. Auch während der Nacht iſt die Nadel weniger ſtationär; je mehr man ſich dagegen dem magnetiſchen Aequator nähert, deſto mehr nimmt die Größe der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetiſchen Meridian ſelbſt iſt ſie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetiſchen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengeſetzter Richtung Statt, d. h. hier bewegt ſich das Südende der Nadel nach Weſten, während nördlich vom magnetiſchen Aequator das Nordende ſich nach dieſer Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemiſphäre das Nordende der Nadel ſich nach Oſten bewegt, ſo hat auf der ſüdlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine öſtliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert ſehr genaue Inſtrumente. Alle früher angewandten werden in dieſer Hinſicht von dem ſchon oben, Seite 20, angeführten Gaußiſchen Apparate übertroffen, der die geringſten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt. Mit dem Gaußiſchen Magnetometer werden bereits an vielen Orten, ſowohl in Europa, als auch in anderen Welttheilen an vorausbeſtimmten Terminen gleichzeitig Beobachtungen angeſtellt; von dieſen Beobachtungen dürfen wir bedeutende Fortſchritte unſerer Kenntniſſe der wunderbaren Störungen des Erdmagnetismus erwarten, namentlich, da ſie jetzt auch auf weiter von einander entlegenere Orte ausgedehnt worden ſind.

Auch die Inclination iſt ſolchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerſt Graham im Jahre 1772 beobachtet hat, jedoch iſt die Amplitude dieſer Variationen geringer als bei der Declination, und ſie laſſen ſich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Störungen der Magnetnadel. Es giebt verſchiedene Einflüſſe, welche 12
plötzlich die Richtung der Magnetnadel ändern und die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen ſtören. Unter allen dieſen Einflüſſen wirkt das Nordlicht am ſtärkſten. Wenn dieſes Meteor am Himmel erſcheint, iſt die Magnetnadel in beſtändiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel iſt aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht ſichtbar iſt, ſondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel ſieht. Im Allgemeinen jedoch ſind die Schwankungen um ſo ſtärker, je näher man dem Phänomen iſt und je intenſiver es erſcheint. Wenn man in den Obſervatorien die Declinationsnadel beobachtet, ſieht man ſie auf einmal unruhig werden und Schwankungen machen, deren Amplitude mehr als einen Grad beträgt, ohne daß man eine Urſache finden kann; man erfährt dann gewöhnlich bald, daß an anderen Orten die Bouſſolen ähnlichen Bewegungen unterworfen waren, und daß man in nördlichen Gegenden ein brillantes Nordlicht

beobachtete. So iſt ein Beobachter in ſeinem Cabinet durch ſeine Bouſſole von dem unterrichtet, was in den Polargegenden vorgeht. —

Erdbeben und vulkaniſche Eruptionen ſcheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben ſie eine permanente Veränderung ihrer Lage zur Folge. So ſah D. Bernoulli im Jahre 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um ½ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Veſuvs bemerkte Pater de la Torre, daß ſich die Declination um mehrere Grade änderte.

13 **Intenſität des Erdmagnetismus.** Einer der wichtigſten Punkte für die Theorie des Erdmagnetismus iſt die Beſtimmung der Intenſität des Erdmagnetismus an verſchiedenen Orten der Erde und zu verſchiedenen Zeiten. Erſt in den neueſten Zeiten ſind darüber genaue Unterſuchungen angeſtellt worden. Graham ſcheint ſich zuerſt im Jahre 1722 mit dieſer Frage beſchäftigt zu haben. Borda gab zuerſt eine genaue Methode an, um die Intenſitäten des Erdmagnetismus verſchiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte dieſe Methode auf ſeiner Reiſe nach Amerika, ſowie auf einer andern Reiſe durch Frankreich, Italien und Deutſchland an. Gauß endlich gab eine Methode an, die Intenſität der magnetiſchen Erdkraft auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen. Seine Arbeiten über dieſen Gegenſtand gehören unſtreitig zu den geiſtreichſten und ausgezeichnetſten Productionen, deren ſich die Wiſſenſchaft je zu erfreuen hatte.

Borda's Methode beſteht darin, die Oscillationsdauer einer und derſelben Nadel an verſchiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intenſität des Erdmagnetismus zu ſchließen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel ſowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann ſich ſelbſt überlaſſen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That ſind auch dieſe Oscillationen ganz den Geſetzen unterworfen, welche wir oben für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur iſt hier der Magnetismus, dort die Schwere die Urſache der Schwingungen. Wir haben dort geſehen, daß ſich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beſchleunigenden Kräften, daß alſo die beſchleunigenden Kräfte ſich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten. Wenn alſo eine und dieſelbe Nadel etwa an einem Orte doppelt ſo ſchnell oscillirt als am andern, ſo wäre hier die magnetiſche Kraft 4mal ſo groß als dort.

Es ſey M die magnetiſche Kraft, welche an einem Orte die ſchwingende Nadel beſchleunigt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche ſie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner ſey m die beſchleunigende Kraft, welche an einem zweiten Orte auf dieſelbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche ſie in derſelben Zeit, alſo auch in 5 Minuten, macht, ſo hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}$$

Hätte man z. B. am erſten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, ſo hätte man

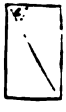
$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085,$$

das heißt, wenn man die magnetiſche Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, ſo iſt dieſe Kraft am erſten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, daß ſich der magnetiſche Zuſtand der Nadel von einem Verſuch zum andern nicht geändert habe, ſo findet man auf dieſe Weiſe das Verhältniß der erdmagnetiſchen Kraft für zwei verſchiedene Orte der Erde.

Um die Intenſität der ganzen magnetiſchen Erdkraft für verſchiedene Orte mit einander zu vergleichen, muß man zu dieſen Oscillationsverſuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Verſuche mit dieſen immer weniger genaue Reſultate geben, ſo zieht man vor, Oscillationsverſuche mit der Declinationsnadel zu machen.

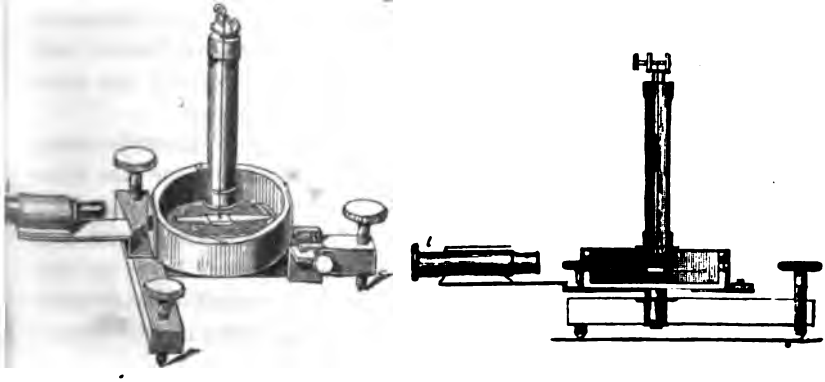
Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, iſt nur ein Theil der ganzen magnetiſchen Erdkraft, und zwar iſt dieſer Antheil um ſo kleiner, je größer die Inclinationsnadel iſt.



Wenn M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetiſche Erdkraft iſt und mit i der Inclinationsnadel bezeichnet wird, ſo iſt $M \cos. i$ die horizontale Compoſante derſelben, alſo die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Compoſante der magnetiſchen Erdkraft, ſo iſt die totale $\frac{m}{\cos. i}$.

Auf Reiſen wird häufig die Fig. 21 abgebildete Gambay'ſche Intenſitätsbouſſole angewandt, um die Intenſität der horizontalen Compoſante

Fig. 21.



der magnetiſchen Erdkraft zu beſtimmen. Der runde Kaſten iſt von Holz; er iſt oben mit einer Glasplatte verſehen und hat außerdem diametral gegenüberſtehend in der Seitenwand zwei Fenſterchen. Die Oscillationen der Nadel werden durch das Fernrohr *l* beobachtet.

Wenn man die Reſultate der Intenſitätsbeſtimmungen zuſammenſtellt, welche an verſchiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden ſind, ergiebt ſich das allgemeine Reſultat, daß die totale Intenſität in der Nähe des magnetiſchen Aequators am kleinſten iſt und daß ſie um ſo mehr wächſt, je mehr man ſich von demſelben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetiſchen Pole iſt ſie ungefähr 1,5mal ſo groß als am Aequator. An einem und demſelben Orte iſt aber die Intenſität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnißzahlen der erdmagnetiſchen Kraft, ohne ſie auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen. Außerdem hat dieſe Methode noch den Nachtheil, daß man nicht immer ſicher ſeyn kann, daß der magnetiſche Zuſtand der Nadel ſelbſt ſich nicht geändert habe und man alſo Gefahr läuft, Veränderungen in dieſem Zuſtande den Veränderungen der erdmagnetiſchen Kraft zuzurechnen. Von allen dieſen Mängeln iſt die Gaußiſche Methode der Intenſitätsbeſtimmung frei; wir wollen verſuchen, die Grundſätze derſelben, ſo weit es auf elementare Weiſe möglich iſt, auseinander zu ſetzen, müſſen dies jedoch für das folgende Kapitel verſchieben.

14 **Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eiſen.** Wenn man eine Stange von weichem Eiſen, welche 6 bis 10 Decimeter lang iſt, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, ſo wird ſie durch den Einfluß des Erdmagnetismus ſelbſt magnetiſch, und zwar wird ihr unteres Ende ein Südpol, ihr oberes ein Nordpol, wie man leicht ſehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem obern, bald dem untern Ende der Stange nähert. Derſelbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem andern abgeſtoßen; man erkennt auf dieſe Weiſe ſogleich den polariſch magnetiſchen Zuſtand des Stabes. Kehrt man den Stab um, ſo ſind ſogleich auch ſeine Pole umgekehrt, das untere Ende iſt wieder ein Südpol, das obere wieder ein Nordpol.

Dieſelbe Wirkung, nur etwas ſchwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertikal hängende Eiſenſtange hervor, überhaupt auf jede Eiſenſtange, welchen Winkel ſie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur iſt die Wirkung um ſo geringer, je mehr ſie ſich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt. Denſelben Einfluß äußert der Erdmagnetismus auch mehr oder weniger auf alle Eiſenmaſſen, alles weiche Eiſen muß alſo unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus einen polaren

Magnetismus annehmen, der ſich je nach den Umſtänden deutlicher oder weniger deutlich nachweiſen läßt.

Wenn eine Stange von Eiſen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus ſelbſt zum Magneten gemacht iſt, ſo reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magneten zu machen; durch das Schlagen wird alſo dem Eiſen eine Coërcitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im Eiſen getrennten magnetiſchen Fluida ſich wieder vereinigen. Dadurch erklärt ſich auch, daß faſt alle Werkzeuge in der Werkſtatt eines Schloſſers Magnete ſind.

Es ſcheint, daß auch chemiſche Veränderungen ähnlich wirken wie mechaniſche Erſchütterungen, um den durch die Erde vertheilten Magnetismus des Eiſens zu fixiren, denn man findet, daß Eiſenſtangen, welche längere Zeit vertikal ſtanden und in dieſer Stellung roſteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben. Ein gewiſſer Julius Cäſar, Chirurg zu Rimini, beobachtete zuerſt im Jahre 1590 an einer Eiſenſtange des Thurmes der Kirche des heil. Auguſtin, daß ſie durch den Einfluß der Erde magnetiſch geworden war. Später, um das Jahr 1630, machte Gaſſendi dieſelbe Beobachtung an dem Kreuze des Thurmes der St. Johanneskirche zu Aix, welches vom Blitze heruntergeſchlagen worden war. Es war ſtark verroſtet und hatte alle Eigenſchaften eines Magneten. Seitdem haben ſich ſolche Beobachtungen ſehr vermehrt, und man hat allgemein gefunden, daß ein etwas geroſtetes Eiſen ſtets ein mehr oder weniger ſtarker Magnet iſt.

Wenn man einen Hufeiſenmagneten in Eiſenfeile taucht, ſo hängt ſich zwiſchen den Polen ein Bündel derſelben an; wenn man ſie nun mit etwas Oel befeuchtet und dann zum Glühen erhitzt, während ſie noch immer dem vertheilenden Einfluſſe des Magneten ausgeſetzt ſind, ſo geht eine theilweiſe Oxydation des Eiſens vor ſich, man erhält eine ziemlich compacte Maſſe, deren Zuſammenſetzung der der natürlichen Magnete ähnlich iſt und welche ebenfalls bleibend magnetiſch iſt.

Drittes Kapitel.

Von den Geſetzen und der Theorie des Magnetismus.

Verſchiedene Mittel, die magnetiſchen Kräfte zu meſſen. 15
Das erſte Mittel, welches ſich darbietet, die Stücke natürlicher und künſtli-

cher Magnete zu vergleichen, beſteht darin, ſie mit einem Stück Eiſen in Verbindung zu bringen, welches man mehr und mehr mit Gewichten belaſtet, bis es endlich abreißt und auf dieſe Weiſe alſo die Tragkraft des Magneten ermittelt. Dieſes Mittel kann nur eine rohe Annäherung geben, wie wir bald ſehen werden, es war jedoch das einzige, welches man bis 1780 anwandte.

In dieſer Zeit brach Coulomb durch ſeine ſchönen Entdeckungen eine neue Bahn in der Wiſſenſchaft. Er gab Methoden an, um die magnetiſchen Kräfte mit äußerſter Genauigkeit zu meſſen.

Coulomb wandte zwei verſchiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu meſſen. 1) Die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel; 2) die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torſionswage, welche man jetzt die Coulomb'ſche Drehwage nennt.

16 **Methode der Oscillationen.** Eine Magnetnadel, welche unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscillirt, kann als ein zuſammengeſetztes Pendel betrachtet werden, und die abſolute Größe der Kraft, welche ſie in Bewegung ſetzt, läßt ſich ausmitteln, wenn man das Trägheitsmoment der Nadel in Beziehung auf ihre Anhängungsaxe und die Zahl der Schwingungen kennt, welche ſie in einer gegebenen Zeit macht. Wir werden auf dieſen Punkt im nächſten Kapitel zurückkehren, wo von der Beſtimmung der Intenſität des Erdmagnetismus die Rede ſeyn wird. Die abſolute Kraft aber, unter deren Einfluß die Nadel oscillirt, iſt ein zuſammengeſetztes Element, welches zugleich von der Intenſität des Erdmagnetismus und dem magnetiſchen Zuſtande der Nadel abhängt.

Auf eine oscillirende Magnetnadel laſſen ſich alle Geſetze der Pendelbewegungen anwenden, woraus ſich ergiebt, daß die magnetiſchen Kräfte, welche auf eine Magnetnadel einwirken, ſich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Nehmen wir zwei ganz gleiche, aber ungleich ſtark magnetiſirte Nadeln, ſo werden dieſe unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus nicht gleich ſchnell oscilliren. Bezeichnen wir mit f die Kraft, welche auf die eine Nadel wirkt, mit t die Anzahl der Sekunden, während welcher eine Oscillation vollendet wird, ferner mit f' und t' die entſprechenden Größen für die andere Nadel, ſo verhalten ſich die Kräfte f und f' umgekehrt wie die Quadrate von t und t', es iſt alſo

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Hätte z. B. die eine Nadel 6 Sekunden, die andere aber nur 4″ zu ei-

ner Oscillation gebraucht, ſo könnte man nach dieſem Geſetze ſchließen, daß die magnetiſche Kraft, welche die letztere beſchleunigt, ſich zu der der erſtern verhält wie 36 zu 16.

Die Schwingungszeit verhält ſich offenbar umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen, die in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, gemacht werden. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Schwingungen, welche die erſte der beiden Nadeln in einer Sekunde macht, mit n' die entſprechende Zahl für die zweite Nadel, ſo hat man

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Wenn außer dem Erdmagnetismus noch ein anderer Magnet auf eine oscillirende Nadel einwirkt, ſo können dadurch, je nach den Umſtänden, die Oscillationen ſchneller oder langſamer werden, als es unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus der Fall geweſen wäre, immer aber läßt ſich aus der beobachteten Schwingungsdauer auf das Verhältniß der beſchleunigenden Kräfte ſchließen.

Nehmen wir an, man habe eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel nur unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ſchwingen laſſen und die Schwingungsdauer t beobachtet, und nähern dann der Nadel einen Magneten in der Art, daß dem Nordpol der Nadel der Südpol des Magneten zugekehrt iſt, ſo werden offenbar die Oscillationen ſchneller werden, die jetzt beobachtete Schwingungsdauer t' iſt kleiner als t. Wenn f die Kraft bezeichnet, welche die Nadel beſchleunigt, wenn nur der Erdmagnetismus wirkt, f' aber die durch die Annäherung des zweiten Magneten modificirte Kraft, ſo haben wir wieder

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Ge- 17
wicht in vertikaler Richtung geſpannt iſt, ſo nimmt er eine Gleichgewichtslage an. Wenn man das Gewicht durch Drehung aus dieſer Gleichgewichtslage herausbringt, ſo erleidet der Faden ſeiner ganzen Länge nach eine Torſion, eine Windung, in Folge deſſen er ein Beſtreben hat, das Gewicht wieder in ſeine Gleichgewichtslage zurückzuführen.

Coulomb hat zuerſt die Torſionskraft ſtudirt und, wie wir ſchon oben (Band I. Seite 59) geſehen haben, gefunden, daß die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren ſtrebt, der Größe der Torſion proportional ſey.

Die Coulomb'ſche Drehwage iſt Fig. 22 dargeſtellt. Fig. 23 auf der folgenden Seite zeigt den obern Theil in einem größern Maaßſtabe. Der ver-

tikale Cylinder, in welchem der Faden herabhängt, endet mit einer kreisförmigen Platte ss', die in der Mitte durchbrochen iſt. Auf dieſer Scheibe läßt ſich mit ſanfter Reibung eine zweite Platte mm' drehen. Ein hervorragender Ring der Scheibe ss' ſichert die centrale Bewegung der Scheibe mm'. In der Mitte hat die Scheibe mm' eine dreieckige Oeffnung, welche ſo liegt, daß der eine Eckwinkel genau mit dem Mittelpunkt zuſammenfällt. In der Spitze dieſes Winkels hängt der Faden herab, welcher oben um eine horizontale Axe gewunden iſt, die von zwei feſten Stücken p und p' getragen wird. Die Platte ss' iſt in ihrem äußeren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe mm' hat einen Index, mittelſt deſſen man die Größe der vorgenommenen Drehungen ableſen kann.

Fig. 22.

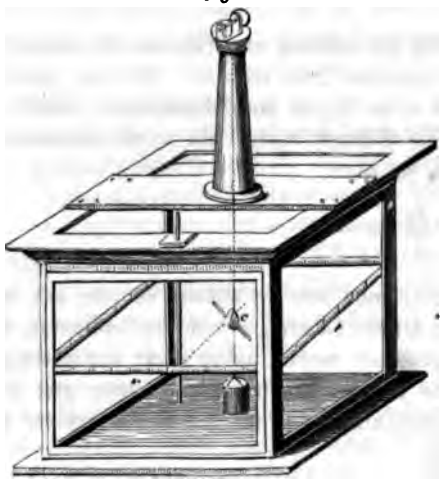
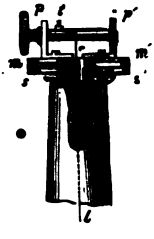


Fig. 23.



Am untern Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Meſſing, in welchen man die Magnetnadeln oder Stäbe hineinlegt. Am Umfange des Kaſtens iſt ein Papierſtreifen aufgeklebt, welcher von Grad zu Grad getheilt iſt. Die Größe dieſer Abtheilungen iſt natürlich nicht gleich; ſie iſt immer von der Art, daß, wenn man ſich von zwei auf einander folgenden Theilſtrichen Linien nach dem Mittelpunkte gezogen denkt, dieſelben einen Winkel von 1^0 mit einander machen. Der Faden muß genau im Mittelpunkte dieſer Theilung hängen.

Wenn das Inſtrument gehörig juſtirt iſt, beſtimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man eine nicht magnetiſirte Nadel in den Bügel c legt. Man dreht nun an dem obern Mikrometer ſo lange, bis der unmagnetiſche Stab genau in dem magnetiſchen Meridian liegt; wenn man nun eine magnetiſirte Nadel in den Bügel legt, ſo wird ſie durch zwei Kräfte in dieſer Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieſer Lage ohne Torſion iſt.

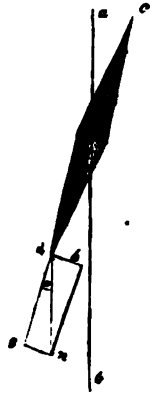
Wenn nun oben das Mikrometer gedreht wird, ſo würde auch die Nadel *dieſer Drehung folgen*, wenn ſie nicht magnetiſch wäre. Der Faden ſtrebt

die Nadel in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torſion ſeyn würde, der Erdmagnetismus aber zieht ſie in den magnetiſchen Meridian zurück; unter dem Einfluſſe dieſer beiden Kräfte nun muß die Nadel irgend eine Zwiſchenlage annehmen, welche von dem Verhältniſſe der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte $m\,m'$, ſey um 180° gedreht und dadurch die Nadel um 20° vom magnetiſchen Meridian abgelenkt worden, ſo beträgt die Torſion des Fadens $180-20=160°$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel iſt, ſo iſt die Torſion des Fadens $V-v$.

In Fig. 24 ſey $a\,b$ die Richtung des magnetiſchen Meridians, $c\,d$ die Lage der aus dem magnetiſchen Meridian abgelenkten Nadel, ſo iſt leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetiſchen Meridians zurückzuführen ſtrebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetiſche Kraft in d appliciert. Die Richtung dieſer Kraft iſt die des magnetiſchen Meridians, wir können alſo dieſe Kraft der Größe und Richtung nach durch eine Linie $d\,n$ darſtellen. Dieſe Kraft läßt ſich aber in zwei andere zerlegen, deren eine $d\,g$, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Compoſante $d\,h$, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieſelbe zu drehen ſtrebt.

Fig. 24.



Bezeichnet m die totale Kraft $d\,n$, ſo iſt die Compoſante $d\,h$ gleich $m\ sin.\ v$, und dieſer Kraft muß die Torſionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der andern Seite zu drehen ſtrebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20° iſt, ſo kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus ſetzen.

Dividirt man den Torſionswinkel des Fadens $V-v$ durch den Ablenkungswinkel v, ſo erhält man einen Quotienten $\frac{V-v}{v}$, deſſen Werth angiebt, wie viel Grade die Torſion des Fadens betragen müſſe, um die Nadel um 1° abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall iſt $V-v=160$ und bei $v=20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20}=8$, d. h. bei dem magnetiſchen Zuſtande der Nadel iſt die Torſionskraft des Fadens für eine Drehung von 8° gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtrebt, wenn ſie einen Winkel von 1° mit dieſem Meridian macht.

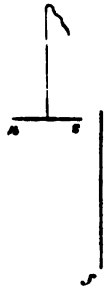
Nehmen wir an, dieſelbe Nadel, mit welcher der vorige Verſuch angeſtellt worden war, ſey ſtärker magnetiſirt worden, man hätte das Mikrometer um 495° drehen müſſen, damit die Nadel um 15° abgelenkt wird, ſo wäre die Torſion des Fadens $495 - 14 = 480°$. Für dieſen Fall iſt die Torſion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1° entſpricht, $\frac{480}{15} = 32°$. In dem letztern Falle war alſo die magnetiſche Kraft der Nadel 4mal ſo groß als im erſtern.

18 **Die magnetiſchen Anziehungen und Abſtoßungen ſtehen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen.** Dieſes Fundamentalgeſetz des Magnetismus war ſchon früher von einigen Phyſikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit deſſelben zuerſt mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewieſen.

1) **Durch Oscillationen.** Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden ſo aufgehängt, daß ſie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor ſtörenden Luftſtrömungen hinlänglich geſchützt iſt. Dieſe Nadel läßt man zuerſt unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus oscilliren. Es ſey n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, m der horizontale Theil der magnetiſchen Erdkraft, welche auf ſie wirkt.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichſt ſtark magnetiſirten Stahlſtabes auf die Nadel wirken. Dieſer Stahlſtab wird in den magnetiſchen Meridian der Nadel $n\ s$ gebracht und zwar in vertikaler Stellung, ſo daß dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt iſt, auf welchen er anziehend wirkt.

Fig. 24.



Der Stab $N\ S$ muß ſo groß ſeyn, daß die Entfernung $s\ N$ möglichſt klein iſt im Vergleich zur Entfernung $s\ S$, daß man alſo die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachläſſigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, daß der Pol N des Stabes $N\ S$ aus einer beſtimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beſchleunigt, ſo hat man im Vergleiche mit dem vorigen Verſuche

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes ſich 4 Zoll weit von der Nadel befindet, ſo hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so daß N 8 Zoll weit von der Nadel ist, und beobachtet alsdann die Zahl der Oscillationen; gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Größe f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber ganz leicht

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

Dieser Versuch zeigt also, daß die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe 4mal schwächer wird.

2) **Mit der Drehwage.** Auch für diese Versuche muß man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des andern verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten ½ bis 1 Linie Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügeln der Drehwage Fig. 22 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, daß eine Torsion von 35° nöthig war, um den Stab um 1° von dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in vertikaler Richtung in den Kasten hineingesteckt und zwar so, daß der nach unten gekehrte Pol den zunächstliegenden des horizontalen Stabes abstieß. Der horizontale Magnetstab kam nun in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24° mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35° gleich ist, so ist die Composante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 24 . 35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864°.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, daß durch die Torsion des

Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360° gedreht, so daß also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem vertikalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von 17 . 35 = 595 Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens 1080 + 17 = 1097°, so erhält man eine Torsionskraft von 1698° als Maaß für die abstoßende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstoßende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen in diesen Versuchen verhalten sich also wie 24:17:12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte aber wie 264 : 1698 : 3312, welche letzteren Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstoßung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, daß der eine Pol des zu prüfenden Magneten in so großer Entfernung war, daß er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen groß genug sind gegen die Dimensionen des Magneten, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen.

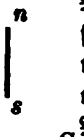
Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magneten ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, daß die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauß nimmt ganz allgemein an, daß die Wirkung der Elemente auf einander sich umgekehrt verhalte wie die *n*te Potenz der Entfernungen, und beweist nachher durch Versuche, die auf ganz anderen Principien beruhen als die Coulomb'schen, daß *n* gleich 2 sey.

Die Wirkung eines Magneten auf einen andern wird sehr durch die gegenseitige Lage beider modificirt. Gauß hat diese Frage ebenfalls ganz allgemein behandelt, wir wollen jedoch nur zwei besondere Lagen ins Auge fassen, nämlich diejenigen, welche für die Versuche die geeignetsten sind.

Betrachten wir nun zuerst den Fall, daß die bewegliche Nadel, auf welcher ein fester Magnetstab wirkt, in einer Ebene liegt, welche auf der Richtung dieses festen Magneten rechtwinklig steht und durch seine Mitte

geht. Dies ist bei der Fig. 25 dargestellten gegenseitigen Lage des festen Magnetstabes $N\,S$ und der beweglichen Nadel $n\,s$ der Fall. Denken wir uns die magnetische Wirkung der Erde als von einem großen Magneten ausgehend, welcher gerade unter der Nadel liegt, so gehört die gegenseitige Lage der Nadel und des Erdmagneten auch diesem ersten Falle an, und die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel kann also auch mit der Wirkung des Magneten $N\,S$ (Fig. 25) auf die Nadel $n\,s$ verglichen werden. Wir werden später von dieser Vergleichung Gebrauch machen.

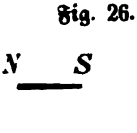
Fig. 25.



In diesem Falle wirkt der Magnetstab NS in der Weise auf die Nadel $n\,s$, daß sie sich, wenn keine anderen Kräfte wirkten, parallel mit $N\,S$ stellen würde. So stellt sich ja auch die Magnetnadel parallel mit dem Erdmagneten.

Dann gehen wir zur Betrachtung des zweiten, Fig. 26 dargestellten, Falles über. Hier liegt die Mitte des beweglichen Magneten $n\,s$ in der Verlängerung des Stabes $N\,S$. In diesem Falle würde sich die Nadel $n\,s$ ohne Mitwirkung fremder Kräfte in die Verlängerung von $N\,S$ stellen.

Fig. 26.

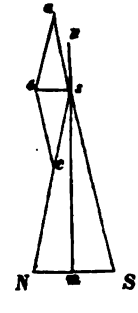


Wir wollen nun untersuchen, mit welcher Kraft der Stab $N\,S$ die Nadel $n\,s$ in beiden Fällen zu drehen strebt, wenn die Nadel rechtwinklig auf der durch den Stab bedingten Gleichgewichtslage, also so steht, wie es die Figuren 25 und 26 darstellen.

Erster Fall. Der Pol S, Fig. 27, stößt den Pol s ab, und zwar in der Richtung $s\,a$. Bezeichnen wir mit q die abstoßende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^n}$ die abstoßende Kraft, welche sie wirklich auf einandee ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird. Hier ist der Werth von n noch unbestimmt gelassen.

Bezeichnen wir die Entfernung $s\,m$ mit r, so können wir ohne merklichen Fehler auch $s\,S$ gleich r setzen, wenn $m\,S$ sehr klein ist im Vergleich zu $m\,s$.

Fig. 27.



Die Kraft $\frac{q}{r^n}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstößt, kann durch die Linie $s\,a$ dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstößt, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie $s\,c$ dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich $s\,b$ als Resultirende der beiden Kräfte $s\,a$ und $s\,c$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $N\,S\,s$ und $b\,s\,a$ ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = as : bs.$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^n}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2a = \frac{q}{r^n} : f,$$

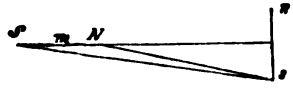
wenn wir mit f den Werth der Resultirenden bs, d. h. die Totalwirkung des Magneten SN auf den Pol s, und mit a die halbe Länge des Magneten bezeichnen; daraus ergiebt sich

$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}}.$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magneten NS auf den andern steht also im umgekehrten Verhältnisse der $(n+1)$ten Potenz von r, und da für den Fall der Wirklichkeit $n = 2$ ist, so ergiebt sich also, daß die Totalwirkung des Magneten NS in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die 3te Potenz der Entfernung wächst.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht, so ist seine anziehende Kraft für die

Fig 28.



Entfernung Ns gleich $\frac{q}{(r-a)^n}$, wenn mit r die Entfernung ms und mit a die halbe Länge des Magneten NS bezeichnet wird; die abstoßende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach gleich $\frac{q}{(r+a)^n}$. Wenn ns klein ist im Vergleich zu der Entfernung des andern Magneten, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

$$F = \frac{q}{(r-a)^n} - \frac{q}{(r+a)^n} = q\,(r-a)^{-n} - q\,(r+a)^{-n} =$$
$$q\,[(r-a)^{-n} - (r+a)^{-n}].$$

Wenn man $(r-a)^{-n}$ nach dem binomischen Lehrsatze in einer Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-n} + nr^{-(n+1)}\,a + etc.$$

Der Ausdruck $(r+a)^{-n}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, daß alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von a behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben, wenn man also die Reihe für $(r+a)^{-n}$ abzieht von der Reihe für $(r-a)^{-n}$, so fällt r^n weg und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von a behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 2naqr^{-(n+1)} + etc. = \frac{2naq}{r^{n+1}} + etc.$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erſte vernachläſſigt, ſo hat man alſo

$$F = \frac{2anq}{r^{n+1}}.$$

Vergleichen wir dieſen Werth F mit dem für die erſte Lage gefundenen Werth von f, ſo ergiebt ſich

$$F = nf.$$

Alle vernachläſſigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher iſt als die $(n+1)$te; wie wir aber geſehen haben, müſſen die Glieder ausfallen, deren Nenner r^{n+2}, r^{n+4}, r^{n+6} u. ſ. w. iſt, das nächſte Glied der vernachläſſigten Reihe hat alſo r^{n+3} zum Nenner.

Gehen wir nun zu den Verſuchen über, welche Gauß anſtellte, um den Werth von n zu ermitteln.

Für den Magneten $n\,s$ wurde der Magnetometerſtab angewandt, den wir ſchon oben (Seite 20) kennen gelernt haben. Südlich von demſelben wurde ein anderer ähnlicher Magnetſtab ſo gelegt wie NS, Fig. 25, daß er alſo rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſtand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetiſchen Meridian zuſammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein iſt, ſo kann man recht gut die Größe dieſes Winkels für ein Maaß der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen ſtrebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer beſtimmten Entfernung beider Stäbe entſprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen Verſuch, ſondern als Mittel aus 4 Verſuchen beſtimmt.

Bei der Fig. 25 dargeſtellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magneten NS ſo um, daß N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S iſt, und S dahin, wo jetzt N iſt, ſo wird eine ebenſo große Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetſtab in der nämlichen Weiſe in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer plazirt, und zwar einmal ſo, daß der Pol N öſtlich, und dann ſo, daß derſelbe Pol weſtlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal öſtlich und einmal weſtlich abgelenkt. Den Werth von v mit möglichſter Genauigkeit zu beſtimmen, wurde das Mittel aus dieſen 4 Beobachtungen genommen.

Es wurde nun eine Reihe ſolcher Verſuche für verſchiedene Entfernungen angeſtellt, die folgende Tabelle enthält die Reſultate derſelben. In der erſten Columne unter r iſt immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entſprechenden Ablenkungen.

r	v	v'
1,1m	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2″
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Verſuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 26, gegen die Magnetometernadel brachte. Auch bei dieſer Verſuchsreihe wurde der jeder Entfernung entſprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, ſondern als Mittel aus 4 Verſuchen beſtimmt. Bei der Lage, wie ſie Fig. 26 dargeſtellt iſt, erhielt man eine weſtliche Ablenkung; dann wurde der Magnet ſo umgekehrt, daß N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entſprechende öſtliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenſo weit oſtwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal N nach Oſten, einmal nach Weſten gekehrt, und ſo erhielt man abermals eine öſtliche und eine weſtliche Ablenkung. Aus den 4 ſo beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die eben angeführte Tabelle enthält in der dritten Columne unter v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie ſie bei dieſer Verſuchsweiſe für die verſchiedenen Entfernungen gefunden wurden.

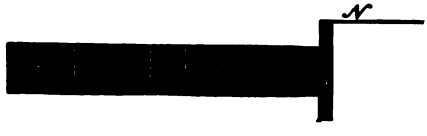
Schon ein flüchtiger Ueberblick dieſer Taballe zeigt, daß für die größeren Entfernnngen die Zahlen der zweiten Columne ſich unter einander wirklich ſehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entſprechenden Werthe von r. Daſſelbe ergiebt ſich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der erſten vergleicht. Wir ſehen daraus, daß in den oben entwickelten Gleichungen

$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}} \text{ und } F = \frac{2anq}{r^{n+1}}$$

er Werth des Exponenten $n+1$ gleich 3 ſeyn muß, woraus $n=2$ folgt. Nach unſerer oben durchgeführten Schlußweiſe iſt $F = nf$, und da vir $n = 2$ gefunden haben, ſo folgt, daß, wenn unſere Schlüſſe richtig ind, die Zahlen der dritten Columne doppelt ſo groß ſeyn müſſen als die aneben ſtehenden der zweiten, was in der That ſehr nahe der Fall iſt, ſo daß über die Richtigkeit des Werthes $n=2$ kein Zweifel übrig bleiben kann.

Die Verſuche über die Totalwirkung der Magnete laſſen ſich auch ohne

Fig. 29.



Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Bouſſole, die nur in ganze Grade getheilt iſt, anſtellen, da man noch 10tel Grade ſchätzen kann. Die Bouſſole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maaßſtabes geſetzt, der nur in Decimeter getheilt zu ſeyn braucht. Will man die Vorrichtung zu Intenſitätsbeſtimmungen auf Reiſen anwenden, wozu ihn eigentlich Weber eingerichtet hat, ſo reicht es hin, wenn der Maaßſtab 1 Meter lang iſt, ſonſt iſt es gut, ihn 1,4 bis 1,6 Meter lang zu nehmen. Bei einer Verſuchsreihe wird der Maaßſtab rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian gelegt, wie Fig. 29 zeigt. Der Magnetſtab $n\,s$, den man zu den Ablenkungsverſuchen anwendet, iſt am beſten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 29 zeigt, iſt die Entfernung ſeiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450^{mm}; außerdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350^{mm} und 300^{mm}. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß für jede Entfernung auf die ſchon angegebene Weiſe 4 Verſuche gemacht und aus deren Ergebniß das Mittel genommen wurde.

Fig. 30.

Für die zweite Verſuchsreihe legt man den Maaßſtab in die Richtung des magnetiſchen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denſelben. Wiederholt man nun die Verſuche, ſo wird man finden, daß die Ablenkungen jetzt ſehr nahe halb ſo groß ſind, als man in der erſten Verſuchsreihe für dieſelbe Entfernung gefunden hatte.

Der Vollſtändigkeit wegen iſt es ſehr zu empfehlen, die Verſuche auch noch auf größere Entfernungen auszudehnen.

Zum Behufe magnetiſcher Intenſitätsbeſtimmungen hat

Weber die Ablenkungen für die in Fig. 29 dargeſtellte Anordnung und die Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter beſtimmt. Die Verſuche gaben die in folgender Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate.

r	v
450	11° 24′ 0″
350	23° 28′ 50″
300	35° 17′ 25″

Die unter v ſtehenden Ablenkungen ſind das Mittel aus 4 Verſuchen.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Größe der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagneten abhängt. Wäre der Magnet ns ſchwächer magnetiſirt geweſen, ſo wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Dieſe Reſultate beſtätigen nun vollkommen unſere oben gemachten Schlüſſe über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 36 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magneten die Form

$$f = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Bei den Gauß'ſchen Verſuchen war die Ablenkung ſo klein, daß man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maaß der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei unſeren Verſuchen aber iſt der Ablenkungswinkel ſo groß, daß man dieſe Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher geſehen haben, iſt die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzudrehen ſtrebt, $c \,.\, sin.\, v$; durch ein ganz ähnliches Raiſonnement ergiebt ſich aber auch, daß, wenn f das Drehungsmoment iſt, mit welchem der Ablenkungsſtab auf die Nadel wirkt, wenn ſie im magnetiſchen Meridian ſteht, daß alsdann $f \,.\, cos.\, v$ das vom Stabe hier auf die Nadel wirkende Drehungsmoment ſey, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetiſchen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber iſt

$$c \,.\, sin.\, v = f \,.\, cos.\, v$$

und daraus

$$\frac{f}{c} = tang.\, v$$

$$f = c \,.\, tang.\, v,$$

woraus man erſieht, daß die ablenkende Kraft des Magneten nicht dem Ablenkungswinkel, ſondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional iſt, wir können alſo die Tangente des Ablenkungswinkels als Maaß *für die Kraft des ablenkenden Magneten* anſehen, für die Tangente des

Ablenkungswinkel gilt alſo auch Alles, was von der ablenkenden Kraft ſelbſt geſagt wurde, und wir haben alſo

$$tang.\ v = \frac{x}{r^3} = \frac{y}{r^5}.$$

Je mehr nun r wächſt, deſto mehr nähert ſich der Werth von *tang.* v dem Werthe $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, ſo kommt

$$r^3\ tang.\ v = x + \frac{y}{r^2}.$$

Aus dieſer Gleichung ſieht man, daß, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Produkt herauskommen müſſe, welches ſich um ſo mehr einem Gränzwerthe x nähert, je größer r wird, d. h. für ſehr große Werthe von r iſt das Produkt r^3 *tang.* v ſtets gleich, wie ſich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, deſto mehr Einfluß bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$, für kleinere Werthe von r wird alſo auch der Werth des Produktes r^2 *tang.* v den Gränzwerth x um ſo mehr übertreffen, je kleiner r iſt.

Bei den eben angeführten Weber'ſchen Verſuchen iſt nun r ſo klein, daß es noch einen ſehr merklichen Einfluß auf das Produkt r^3 *tang.* v ausübt. Aus den angeführten Weber'ſchen Verſuchen berechnet man folgende Werthe von r^3 *tang.* v.

18374000	für die	Entfernung	450^{mm}
18625000	»	»	350
19110000	»	»	300.

Wir ſehen alſo, daß für kleinere r jenes Produkt immer größer wird.

Für die folgenden Beſtimmungen der Intenſität des Erdmagnetismus iſt es von der größten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem ſich das Produkt r^3 *tang.* v immer mehr nähert, je größer r wird.

Für die Entfernung 450^{mm} iſt der Werth von *tang.* v gleich 0,20163, wenn wir alſo die beiden erſten Glieder im Werthe von *tang.* v berückſichtigen, ſo hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{450^3} + \frac{y}{450^5} \quad 1)$$

für die Entfernung 300^{mm} iſt der Werth von *tang.* v gleich 0,70779, es iſt alſo

$$0{,}70779 = \frac{x}{300^3} + \frac{y}{300^5} \quad 2)$$

Aus dieſen beiden Gleichungen läßt ſich nun der Werth von x beſtimmen, man findet

$$x = 17784000.$$

Dies würde genau der Gränzwerth ſeyn, dem ſich das Produkt $r^3 \, tang. v$ um ſo mehr nähert, je größer r wird, wenn die Verſuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In dieſem Falle müßte man auch genau denſelben Werth von x finden, wenn man den erſten und zweiten Verſuch in der Weiſe verbindet, wie wir es eben für den erſten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 350 iſt der Werth von *tang. v* gleich 0,4344, dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{350^3} = \frac{y}{350^5}.$$

Combinirt man dieſe Gleichung mit der Gleichung 1), ſo kommt

$$x = 17990000.$$

Combinirt man auf dieſelbe Weiſe den zweiten und dritten Verſuch, ſo kommt

$$x = 17310000.$$

Den wahrſcheinlichſten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf dieſe Weiſe

$$x = 17667000.$$

Weber hat nach den Regeln der Wahrſcheinlichkeitsrechnung auf eine genauere Weiſe dieſen Werth berechnet und 17530000 gefunden, was mit unſerm Reſultate nahe zuſammenfällt.

19 Nachdem wir die Geſetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Gauß'ſchen Unterſuchungen über die Beſtimmung der Intenſität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Geſammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene ſchwingende Magnetnadel wirkt, läßt ſich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Geſetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im erſten Bande geſehen haben, iſt für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo die Buchſtaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem phyſiſchen, alſo zuſammengeſetzten Pendel zu thun hat, ſo muß für l die Länge des einfachen Pendels geſetzt werden, welches mit dem fraglichen phyſiſchen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie oben gezeigt wurde, findet man aber dieſe Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des phyſiſchen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der ſtatiſchen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die ein-

zelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener ſtatiſchen Momente mit C, ſo iſt

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

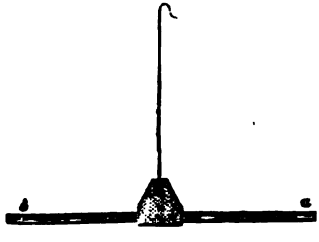
Um die Sache recht anſchaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchſtaben K und C noch von einer andern Seite betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, iſt in der That nichts anders als die träge Maſſe, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt ſeyn müßte, um der Geſammtheit der beſchleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denſelben Widerſtand entgegenzuſetzen, wie es die träge Maſſe des Körpers wirklich thut. Die Summe C der ſtatiſchen Momente iſt aber ebenſo die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müßte, um denſelben Effect hervorzubringen, wie die Geſammtheit aller Kräfte, die in verſchiedenen Entfernungen vom Drehpunkte angreifen.

Wenden wir nun unſere Formel auf einen Magnetſtab an, welcher in horizontaler Ebene um eine vertikale Axe unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscillirt. Hier ergiebt ſich t aus der Beobachtung, K läßt ſich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Geſtalt hat; man kann demnach C nach jener Formel beſtimmen, man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \cdot t^2}.$$

Gauß wandte zu den Schwingungsverſuchen, die er zur Beſtimmung der erdmagnetiſchen Kraft anſtellte, das ſchon beſchriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetſtab in einem meſſingenen Schiffchen liegt, welches mitſchwingt. Dadurch iſt nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmomentes K unmöglich, und es iſt deshalb nöthig, dieſe Größe durch den Verſuch auszumitteln, wofür Gauß ein äußerſt ſinnreiches Verfahren angegeben hat, deſſen Auseinanderſetzung uns hier zu weit führen würde.

Fig. 31.



W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauß'ſchen Methode die Intenſität der erdmagnetiſchen Kraft zu beſtimmen, der beſonders Reiſenden und ſolchen zu empfehlen iſt, die ein Magnetometer mit allem Zubehör nicht anſchaffen und aufſtellen können. Der Magnetſtab, den Weber anwendet, iſt ein möglichſt genau gearbeitetes Parallelopiped, welches man, wie Fig. 31 zeigt, in eine kleine Hülſe von Papier legen kann, wenn man die Schwin-

gungsverſuche machen will. Da die Papierhülſe ſo außerordentlich leicht iſt, ſo wird durch ſie das berechnete Trägheitsmoment nicht merklich verändert.

Der Magnetſtab, wie ihn Weber anwandte, war 101^{mm} lang, 17,5^{mm} breit und wog 142 Gramm (es iſt bequem, wenn er genau 100^{mm} lang iſt). Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines 4ſeitigen Prisma's in Beziehung auf eine feſte Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prisma's geht und der einen Kante parallel iſt, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12} p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel ſind; p iſt das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 101^{mm}$, $b = 17{,}5^{mm}$, $p = 142^{gr}$, es iſt demnach

$$K = \frac{101^2 + 17{,}5^2}{12} 142000 = 124335791{,}66,$$

wenn man das Milligramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetſtab ſetzt alſo einer jeden beſchleunigenden Kraft, die ihn um ſeine vertikale Axe zu drehen ſtrebt, einen eben ſo großen Widerſtand entgegen, wie eine träge Maſſe von 124335791,66 Milligrammen in der Entfernung 1^{mm} von der Drehaxe.

Die Dauer einer Oscillation, alſo t, war für dieſen Stab 6,67 Sekunden, es ergiebt ſich demnach

$$C = \frac{124335791{,}66 \,.\, \pi^2}{g \,.\, 6{,}67^2} = 2812,$$

wenn man für π^2 ſeinen Werth 9,8696 und für g ſeinen Werth 9808,8 (Millimeter) ſetzt.

Die Zahl 2812 drückt die Menge der Milligramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1^{mm} langen Hebel gleich iſt der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die Axe um ihre vertikale Axe zu drehen ſtrebt, wenn der Stab rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht.

Auf dieſe Weiſe iſt ſchon die magnetiſche Kraft, welche den Stab beſchleunigt, auf ein abſolutes Maaß zurückgeführt. Damit iſt aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetiſche Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 2812$ iſt noch von der Natur der Nadel abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes ſtärker oder ſchwächer entwickelt geweſen, ſo würde der Werth von C größer oder kleiner geworden ſeyn; außerdem iſt aber auch C der magnetiſchen Erdkraft proportional, es iſt alſo

$$C = TM,$$

wenn T die magnetiſche Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es iſt alſo für unſer Beiſpiel

$$T \,.\, M = 2812.$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwiſchen den Größen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwiſchen T und M bilden kann, ſo läßt ſich M, alſo gewiſſermaßen die magnetiſche Individualität der Nadel eliminiren und ein abſoluter Werth für T finden.

Aus den oben angeführten Verſuchen über die Wirkung eines Magneten auf eine in horizontaler Ebene frei drehbare Nadel ergiebt ſich aber ein Verhältniß zwiſchen der Kraft des Erdmagnetismus und der Kraft des ablenkenden Magneten, und dies führt uns zur Beſtimmung eines numeriſchen Werthes für den Quotienten $\frac{M}{T}$.

Wir haben geſehen, daß, wenn ein Magnetſtab in die Lage gegen eine bewegliche Nadel gebracht wird, wie ſie Fig. 30 dargeſtellt iſt, alsdann eine Ablenkung der Nadel erfolgt und daß

$$\frac{f}{c} = tang.\, v,$$

wenn f, c und v die dort angegebene Bedeutung haben. Das Drehungsmoment c hat für die Nadel der Bouſſole ganz dieſelbe Bedeutung, wie C für den Magnetſtab, mit welchem die Schwingungsverſuche angeſtellt wurden, es iſt alſo auch

$$c = mT,$$

wo T dieſelbe Bedeutung hat wie oben, und m für die Nadel daſſelbe bezeichnet, was M für den Stab iſt. Wir haben demnach

$$\frac{f}{mT} = tang.\, v.$$

Das Drehungsmoment f, mit welchem der Magnetſtab ns die Nadel zu drehen ſtrebt, iſt abhängig von der Stärke des Magnetismus der Nadel, von der Stärke des Magnetismus des Stabes und von der Entfernung beider. Wir haben geſehen, daß, wenn die Entfernung einigermaßen groß iſt, das Produkt fr^3 eine conſtante Größe iſt. Dieſes Produkt bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er ſich in der Entfernung 1 von ihm befände und ſeine Wirkung bei dieſer Annäherung wirklich in dem Verhältniſſe zugenommen hätte, in welchem der Cubus der Entfernung abnahm. Dies Verhältniß zwiſchen der Wirkung und Entfernung findet nun für kleine Entfernungen in der That nicht mehr Statt, das hindert aber nicht, das auf die Einheit der Entfernung reducirte Drehungsmoment fr^3 für ein Maaß des Magnetismus des Stabes zu benutzen, da man ja für fr^3 einen conſtanten von der *Entfernung r ganz unabhängigen* Werth hat.

Das reducirte Moment fr^3 iſt aber noch abhängig vom Magnetismus des Stabes und dem der Nadel, es iſt alſo gleich einem Produkte mM, und es bleibt nur noch zu beſtimmen, welches die Einheit ſeyn ſoll, in welcher m und M auszudrücken ſind.

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel der Bouſſole ſeyen vollkommen gleich und auch gleich ſtark magnetiſch; ferner ſey dieſer Magnetismus gerade ſo ſtark, daß das reducirte Drehungsmoment fr^3 gleich iſt dem Drucke von 1 Milligramm, welches 1 Millimeter weit vom Drehpunkte der beweglichen Nadel angreift. Die Stärke des Magnetismus nun, welche in dieſem Falle in jedem der beiden Magnete entwickelt iſt, wollen wir zur Einheit des Magnetismus nehmen. Wäre der Magnetismus des Stabes Mmal und der der Nadel $m$mal ſo groß, ſo würde offenbar das reducirte Drehungsmoment, welches bei der bisher betrachteten gegenſeitigen Lage der Stab auf die Nadel ausübt, Mm ſeyn.

In derſelben Einheit iſt nun auch die Stärke des Erdmagnetismus, T, auszudrücken. T, in Zahlen ausgedrückt, giebt an, wie viel Milligramme an einem Hebelarme von 1 Millimeter angreifend dem Drehungsmomente das Gleichgewicht halten würden, mit welchem der Erdmagnetismus eine rechtwinklig auf dem Meridiane ſtehende Nadel zu drehen ſtrebt, in welcher die Einheit des Magnetismus entwickelt iſt.

Kehren wir jedoch zu unſeren Rechnungen zurück. Es iſt

$$\frac{f}{mT} = tang.\, v,$$

folglich auch

$$\frac{fr^3}{mT} = r^3\, tang.\, v.$$

Ferner aber iſt $fr^3 = Mm$, mithin auch

$$\frac{mM}{mT} = r^3\, tang.\, v,$$

und daraus

$$\frac{M}{T} = r^3\, tang.\, v.$$

Nun aber hat, wie wir geſehen haben, das Produkt $r^3\, tang.\, v$ einen conſtanten Werth, wenn nur r groß genug iſt; und ſelbſt wenn man die Verſuche für kleinere Entfernungen gemacht hat, läßt ſich der Gränzwerth berechnen, dem ſich das Produkt $r^3\, tang.\, v$ um ſo mehr nähert, je größer r wird.

Für die oben Seite 42 angeſtellte Verſuchsreihe ergab ſich für $r^3\, tang.\, v$ der Gränzwerth 17667000. Die dort angeführten Verſuche waren aber bei einer andern gegenſeitigen Lage des Stabes ns und der Nadel angeſtellt *worden, und zwar* in einer Lage, bei welcher die Ablenkung der Nadel immer

doppelt ſo groß iſt, als ſie in der Lage Fig. 30 geweſen ſeyn würde, welche wir bei unſerer letzten Betrachtung zu Grunde legen müſſen. Wir können jedoch das dort gefundene Reſultat für unſern Zweck ſehr gut gebrauchen, wir haben den für jene Lage erhaltenen Gränzwerth nur mit 2 zu dividiren, um den Gränzwerth für unſere Lage zu erhalten. Wir haben demnach

$$\frac{M}{T} = 8833500.$$

Da nun

$$MT = 2812,$$

ſo kommt

$$T = \sqrt{\frac{2812}{8833500}} = 0{,}017842.$$

Es iſt nicht nöthig, erſt den numeriſchen Werth von MT und $\frac{M}{T}$ zu berechnen, es läßt ſich auch eine Formel für T beſtimmen, mit Hülfe deren man für jeden beſondern Fall gleich den Werth von T finden kann. Es iſt

$$MT = \frac{\Pi^2 K}{g t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v.$$

Aus der erſten dieſer Gleichungen folgt

$$T = \frac{\Pi^2 K}{g t^2 M},$$

aus der zweiten

$$T = \frac{M}{r^3 \, tang. \, v.}$$

Multiplicirt man dieſe beiden Werthe von T mit einander, ſo kommt

$$T^2 = \frac{\Pi^2 K}{g t^2 \, r^3 \, tang. \, v}$$

und

$$T = \frac{\Pi}{t} \sqrt{\frac{K}{g \, . \, r^3 \, tang. \, v.}}$$

Bei unſeren bisherigen Berechnungen haben wir als Einheit der Kraft den Druck angenommen, den eine Maſſe von 1 Milligramm unter dem Einfluſſe der Schwere hervorbringt. Dieſer Druck ſelbſt iſt aber nicht für alle Punkte der Erde derſelbe, weil die Intenſität der Schwerkraft nicht überall dieſelbe iſt. In unſeren Formeln iſt alſo die Einheit der Kraft ſelbſt eine veränderliche Größe, die man durch eine unveränderliche meſſen

muß, um die magnetiſche Intenſität auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen.

Bekanntlich iſt g die Endgeſchwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der erſten Sekunde, oder, was daſſelbe iſt, der doppelte Fallraum der erſten Sekunde. Nehmen wir nun als Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluß der doppelte Fallraum der erſten Sekunde nicht g, ſondern die Längeneinheit wäre, ſo würde, wenn dieſe Kraft ſtatt der Schwere wirkte, die Maſſe eines Milligramms einen $g$mal geringern Druck ausüben; um alſo mit dieſer Kraft denſelben hervorzubringen, wie C Milligramme unter der Wirkung der Schwere, müßte man eine Maſſe von Cg Milligrammen anwenden. Wenn man alſo dieſe Einheit der Kraft zu Grunde legen will, hat man den Werth von C, oder, was daſſelbe iſt, den Werth von MT, wie er in den obigen Rechnungen eingeführt wurde, mit g zu multipliciren, d. h. man muß ſetzen

$$MT = \frac{\Pi^2 K}{t^2}.$$

Combinirt man dieſen Werth von MT mit der Gleichung $\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v$, ſo kommt

$$T = \frac{\Pi}{t} \sqrt{\frac{K}{r^3 \, tang. \, v}}.$$

In dieſer Gleichung iſt für K das berechnete Trägheitsmoment des zu den Schwingungsverſuchen angewandten Magnetſtabes, für t die beobachtete Schwingungszeit und für $r^3 \, tang. \, v$ der aus den Ablenkungsverſuchen abgeleitete Gränzwerth dieſes Produkts zu ſetzen. Π hat den bekannten Werth 3,14159.

Für die ſchon oben angegebenen, aus Weber's Beobachtungen genommenen Werthe $t = 6{,}67$, $K = 124335792$ und $r^2 \, tang. \, v = 8833500$ ergiebt ſich

$$T = 1{,}767.$$

Weber legte, wie ſchon bemerkt wurde, bei der Berechnung von T den auf etwas andere Weiſe gefundenen Gränzwerth von $r^3 \, tang. \, v$, nämlich 8765000 zu Grunde und fand danach

$$T = 1{,}774,$$

was von unſerm Reſultate nur um 0,007 abweicht.

Den oben (Seite 47) berechneten Werth von T, nämlich 0,017842, hat man nur mit $\sqrt{g}$, alſo in Zahlen ausgedrückt mit $\sqrt{9808}$, zu multipliciren, um den zuletzt erhaltenen Werth von T zu erhalten.

Der ſo beſtimmte Werth von T iſt nicht der Werth der Intenſität der ganzen magnetiſchen Erdkraft, ſondern nur der ihrer horizontalen Compoſante. Die totale magnetiſche Erdkraft iſt

$$I = \frac{T}{\cos. i}.$$

Je mehr man ſich dem magnetiſchen Meridian nähert, deſto größer wird begreiflicher Weiſe die horizontale Compoſante T der erdmagnetiſchen Kraft. So fand man nach der Gauß'ſchen Methode den Werth von T

in Göttingen 1,774
in München. 1,905
in Mailand . . . . . 2,018.

Die bisher beſprochene, von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Berechnung der Intenſität des Erdmagnetismus giebt Reſultate, welche bis auf die Größe der täglichen Variationen der Intenſität genau ſind.

Die Intenſität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade ſo wie die Declination und Inclination, erſt in neuerer Zeit aber hat man dieſem für die Theorie des Erdmagnetismus ſo wichtigen Elemente eine größere Aufmerkſamkeit geſchenkt. Gauß hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, conſtruirt, durch welchen die geringſte Aenderung der Intenſität des Erdmagnetismus nachgewieſen und dem Auge ganz in der Weiſe ſichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers auseinander zu ſetzen, ſo müſſen wir doch wenigſtens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben geſehen, wie man mit Hülfe des einfachen Magnetometers die Intenſität des Erdmagnetismus mit außerordentlicher Genauigkeit ermitteln kann, dieſe Methode aber iſt unbrauchbar, ſobald es ſich darum handelt, die täglichen Variationen der Intenſität zu ermitteln. Unſere Methode zur Beſtimmung der magnetiſchen Intenſität beruht auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche ſämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anſpruch nehmen, während welcher ſich die Intenſität ändern kann, man erhält auf dieſe Weiſe alſo nur Mittelwerthe der Intenſität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen ſie während dieſer Zeit erlitten hat.

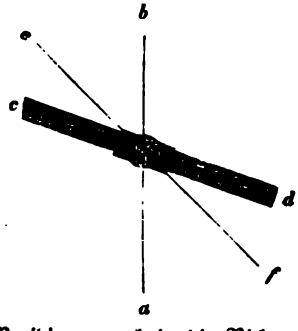
Die Schwingungsdauer eines Magnetſtabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anſpruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weiſe das Drehungsmoment zu beſtimmen, welches die erdmagnetiſche Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er ſich nicht im magnetiſchen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauß'ſchen Bifilarmagnetometers kann man dieſes Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen ſcharf beſtimmen und ſeine Veränderungen ſicher und ſchnell meſſen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft ſollicitirt wird, an zwei Fäden aufgehängt iſt, ſo befindet er ſich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt

des Körpers ſich in derſelben Ebene zwiſchen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieſer Gleichgewichtslage herausdreht, ſo werden die Fäden gleichſam ſpiralförmig gewunden, in Folge deſſen ein Beſtreben entſteht, den Körper in ſeine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Größe dieſer richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden und ihrer Entfernung ab.

Denken wir uns an zwei parallelen Fäden einen nicht magnetiſchen Stab aufgehängt, ungefähr wie Fig. 32 zeigt, ſo wird der Stab eine beſtimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche davon abhängt, wie der Stab an den Fäden befeſtigt iſt. Es ſey *a b* die Richtung des magnetiſchen Meridians, und die Directionskraft der Fäden, welche in dieſem Grundriſſe nur als Punkte erſcheinen, möge dem nicht magnetiſchen Stabe die Lage *c d* geben. Subſtituirt man für den nicht magnetiſchen Stab einen magnetiſchen, ſo wird er ſich weder in den magnetiſchen Meridian, noch in die Richtung *c d* ſtellen, ſondern er wird irgend eine Zwiſchenlage *e f* annehmen, welche von dem Verhältniſſe der richtenden Kraft des Erdmagnetismus und der der Fäden abhängt.

Fig. 32.



Dies iſt das Princip des Gauß'ſchen Biſilarmagnetometers. Der Magnetſtab liegt in einem Schiffchen, welches von zwei 17 Fuß langen Stahldrähten getragen wird. Es iſt Alles ſo eingerichtet, daß die Zwiſchenlage *e f*, welche der Magnetſtab wirklich annimmt, nahe einen rechten Winkel mit dem magnetiſchen Meridian macht. Es iſt klar, daß die geringſte Aenderung in der Intenſität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetſtabes ändern müſſe; wenn ſie ſtärker wird, ſo nähert er ſich dem magnetiſchen Meridian, wenn ſie abnimmt, ſo entfernt er ſich von demſelben. Da nun die Intenſität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, ſo ſchwankt der Magnetſtab fortwährend in derſelben Weiſe wie der Magnetſtab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieſelbe Weiſe beobachtet wie beim Magnetometer.

Mittheilung des Magnetismus und Beſtimmung der Pole. In einem regelmäßig magnetiſirten Stabe iſt eigentlich der Magnetismus ganz gleichförmig vertheilt, d. h. in jedem materiellen Theilchen ſind die beiden Fluida gleich ſtark getrennt. Aus dieſer Vertheilungsweiſe geht aber hervor, daß die Stärke der anziehenden und abſtoßenden Kraft, welche ein Magnet an verſchiedenen Stellen ſeiner Oberfläche äußert, nicht überall dieſelbe ſeyn kann. Schon beim Eintauchen in Eiſenfeilſpähne haben wir das

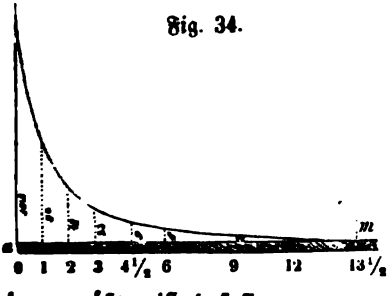
geſehen; wir haben geſehen, daß die Anziehung an den Enden eines Stabes am größten und daß ſie in ſeiner Mitte gleich Null iſt.

Das Geſetz, nach welchem die Stärke der magnetiſchen Wirkung von den Enden eines magnetiſchen Stabes nach ſeiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe ſorgfältiger Verſuche ermittelt. Er hing eine kleine ungefähr 7 Linien lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und ließ ſie zuerſt nur unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu unterſuchenden Stab der Nadel in vertikaler Richtung, ſo daß er ſich im magnetiſchen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, ſo wurden die Oscillationen beſchleunigt, allein die Beſchleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verſchiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber ſtanden, die Schwingungen wurden nämlich um ſo langſamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen ſich der Mitte des Magnetſtabes näherten. Wenn die Mitte der Nadel dem Stabe gegenüber ſtand, oscillirte die Nadel gerade ſo ſchnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetiſchen Anziehung auf dieſelbe Weiſe ſchließen, die wir ſchon oben kennen gelernt haben.

Fig. 33.

Die Reſultate ſeiner Beobachtungen laſſen ſich, wie Fig. 34 geſchehen iſt, graphiſch darſtellen. Es ſtellt *m a* die eine Hälfte eines Magnetſtabes dar, *m* iſt ſeine Mitte, *a* das eine Ende. Die an verſchiedenen Stellen errichteten Ordinaten ſind der an dieſer Stelle beobachteten magnetiſchen Intenſität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man ſieht, daß am Ende *a* die Intenſität am größten iſt, daß ſie von *a* gegen die Mitte hin anfangs ſehr raſch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Kurve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, genau dieſelbe Geſtalt, ſo daß in der Mitte ein mehr oder weniger großer Raum ſich befindet, für welchen die Intenſität ſo gut wie Null iſt. Es geht daraus hervor, daß die Pole aller Magnetſtäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt und welche gleich ſtark ſind, in gleichen Entfernungen von den Enden liegen; denn da ein Pol nichts iſt als der Angriffspunkt der Reſultirenden aller einzelnen anziehenden Kräfte, ſo muß die Lage dieſes Pols immer dieſelbe bleiben, ſo

Fig. 34.



lange die in den verſchiedenen Punkten angreifenden Kräfte daſſelbe Geſetz befolgen.

Für ſolche längere Stäbe hat Coulomb durch Rechnung gefunden, daß die Pole ungefähr 18 Linien weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetſtäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $\frac{1}{3}$ der halben Länge. Bei einem 3 Zoll langen Stabe werden alſo die Pole etwas mehr als 6 Linien von den Enden entfernt ſeyn.

Dieſe Reſultate ſetzen jedoch voraus, daß die übrigen Dimenſionen des Stabes im Vergleich zu ſeiner Länge ſehr klein ſind, daß ſie eine ganz regelmäßige Geſtalt haben und daß ſie ganz gleichförmig magnetiſirt ſind. Wenn dieſe Bedingungen nicht erfüllt ſind, laſſen ſich die Pole nicht mehr theoretiſch beſtimmen, man muß ſie direct mit einer Probirnadel ſuchen, wenn es etwa darauf ankommen ſollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Die nach den Enden eines Magnetſtabes hin immer ſtärker werdende magnetiſche Intenſität läßt ſich aus der Vorſtellung, die man ſich von einem Magneten macht (Seite 9), ſehr leicht erklären. Es ſey Fig. 35 eine Reihe von Partikeln, welche einen Magnetſtab bilden. In jedem Partikel ſind die beiden Fluida getrennt und auf dieſelbe Weiſe gerichtet. Es befinde ſich nun in a ein magnetiſches Element, welches mit dem Magnetismus der ſchwarzen Stellen von gleicher Natur iſt. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte ſtößt es ab, die Anziehung iſt aber vorherrſchend, weil die weiße Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte a näher liegt. Bezeichnen wir die Reſultirende der beiden Kräfte, alſo die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf a ausübt, mit r. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieſelbe Weiſe auf das Element in a, nur iſt ſeine Totalwirkung r' wegen der größern Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner iſt die Wirkung r'' des Partikelchens 3 auf das Element in a u. ſ. w. Die Totalanziehung des Magnetſtabes auf das Element a läßt ſich alſo durch die Summe

Fig. 35.

$$S = r + r' + r'' + r''' + etc.$$

darſtellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner iſt als das vorhergehende.

Befände ſich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in a, ſondern in b, ſo würde ſich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 iſt das erſte, deſſen Wirkung in Betracht zu ziehen iſt; es iſt aber von b ſo weit entfernt wie 2 von a; die Kraft, mit welcher er das Element in b anzieht, iſt alſo ungefähr gleich r', kurz, die Totalwirkung des Stabes auf b iſt

$$S' = r' + r'' + r''' + etc.$$

Daß S' ſchon bedeutend kleiner ſeyn muß als S, ergiebt ſich daraus, daß

man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das größte Glied der Summe, nämlich r, wegnimmt.

Befände ſich das magnetiſche Element, auf welches der Stab wirkt, in c, ſo würden ſich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 iſt alſo gewiſſermaßen das nächſte, welches auf c wirkt, und ſeine Wirkung läßt ſich durch r'' ausdrücken, der Totaleffect des Stabes auf e aber durch die Reihe

$$S' = r'' + r''' + etc.,$$

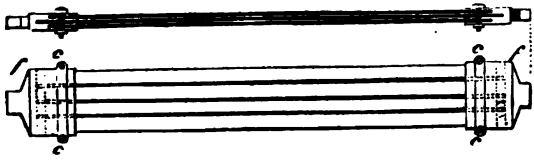
welche wieder bedeutend kleiner iſt als S. In der Weiſe kann man nun fortſchließen und findet auch leicht, daß die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null ſeyn müſſe.

Viertes Kapitel.

Von den verſchiedenen Methoden des Magnetiſirens und den Urſachen, welche die Coercitivkraft modificiren.

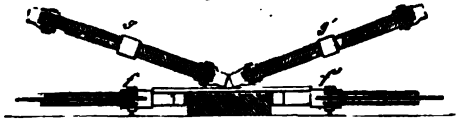
Die Methode von Duhamel oder der getrennte Strich beſteht 21
darin, daß man zwei ſtarke Magnetbündel von der Art, wie ſie Fig. 36

Fig. 36.



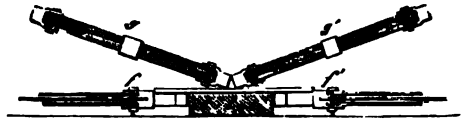
dargeſtellt ſind, ſo legt, daß die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des andern zu liegen kommt, und daß entgegengeſetzte Pole einander zugekehrt ſind, wie man Fig. 37 ſieht, wo f den einen Pol des einen Bündels, f' den ungleichnamigen des andern darſtellt. Die zu magnetiſirende Nadel legt man nun ſo, wie man in der Fig. 37 ſieht, und unterſtützt ſie in der Mitte noch durch ein Holzſtück l, auf welchem man ſie auch noch befeſtigen

Fig. 37.



kann, damit keine Verrückung möglich iſt. Nun nimmt man die beiden Streichmagnete g und g', den einen in die rechte, den andern in die linke Hand, ſetzt ſie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der Mitte des zu magnetiſirenden Stabes auf, ſtreicht alsdann mit langſamer regelmäßiger Bewegung von

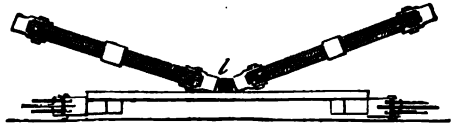
Fig. 38.



der Mitte aus gegen die Enden, ſo daß die Magnetbündel g und g' gleichzeitig an den entgegengeſetzten Enden der Nadel ankommen, hier hebt man ſie ab, ſetzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann daſſelbe Verfahren mehrere Mal. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Streichmagnete die Nadel mit demjenigen Pol berühren müſſen, nach welchem man ſie hinführt. Dieſe Methode iſt beſonders geeignet, um Magnetnadeln für Bouſſolen oder Stahlſtäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick ſind, regelmäßig und vollſtändig zu magnetiſiren.

22 **Das Verfahren von Aepinus oder der Doppelſtrich** iſt anzuwenden, wenn die Stahlſtäbe mehr als 4 bis 5 Millimeter dick ſind, denn für dieſe iſt die eben beſchriebene Methode unzureichend. Der Doppelſtrich wird folgendermaßen ausgeführt. Man legt den zu magnetiſirenden Stab auf dieſelbe Weiſe zwiſchen

Fig. 39.



zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode und ſetzt auch die beiden Streichmagnete auf dieſelbe Weiſe in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, ſo daß ſie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann ſtreicht man mit ihnen nicht nach den entgegengeſetzten Polen, ſondern man bewegt beide nach demſelben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man ſie auf dieſe Weiſe zuſammen hinlänglich oft über den Magneten hin und her geführt hat, hebt man ſie von der Mitte des Stabes wieder ab, Um dieſe Operation bequemer zu bewerkſtelligen, kann man die beiden Streichmagnete auf einer Art Dreieck von Holz oder Meſſing befeſtigen; auf jeden Fall aber muß zwiſchen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwiſchen-

raum von 5 bis 6 Millimetern ſeyn, die man am beſten durch ein Stückchen Holz, Meſſing oder Blei ſichert, welches in unſerer Figur durch *l* bezeichnet iſt.

Der Doppelſtrich giebt einen ſtarken Magnetismus; er darf aber zum Magnetiſiren von Nadeln für Bouſſolen und Stäbe, welche zu genauen Unterſuchungen dienen ſollen, nicht angewendet werden, weil er faſt immer ungleich ſtarke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlaßt.

Der Sättigungspunkt. Die Quantität des Magnetismus, welche 23
einem Körper mitgetheilt werden kann, hängt ſtets von der Stärke der Streichmagnete ab, die Quantität des Magnetismus aber, welche ein Körper *behält*, hat eine Gränze, welche man den *Sättigungspunkt* nennt. Eine Nadel z. B., welche nur 100 Schwingungen in 100 Sekunden macht, wenn man ſie mit ſchwachen Stäben magnetiſirt, wird ſchon in 90, 80, 70 u. ſ. w. Sekunden 100 Schwingungen machen, wenn man ſie ſtärker magnetiſirt. Wenn man aber ſehr ſtark magnetiſirt hat, ſo kann es kommen, daß gleich nach der Operation die Nadel einen ſtärkeren Magnetismus zeigt, als ſpäter, daß ſie alſo einen Theil ihres Magnetismus wieder verliert. Wenn die magnetiſche Intenſität unter einer gewiſſen Gränze bleibt, welcher z. B. 100 Schwingungen in 40 Sekunden entſprechen, behält die Nadel ihren Zuſtand unverändert, d. h. nach Monaten und Jahren macht ſie auch noch 100 Schwingungen in 40 Sekunden. Wenn man aber dieſer Nadel eine größere Intenſität mitgetheilt hätte, ſo daß ſie gleich nach dem Magnetiſiren 100 Schwingungen in 30 oder in 20 Sekunden gemacht hätte, ſo würde ihre Stärke raſch bis zu dem Punkte abnehmen, wo ſie wieder 100 Schwingungen in 40 Sekunden macht, und dieſe Gränze iſt der Sättigungspunkt. Es iſt klar, daß der Sättigungspunkt einer Nadel oder eines Stabes nur von ihrer Coërcitivkraft und nicht von der Stärke der Magnetſtäbe abhängt, die man zum Magnetiſiren anwendet.

Um zu erkennen, ob eine Nadel bis zum Sättigungspunkte magnetiſirt ſey, hat man kein anderes Mittel, als ſie mit ſtärkeren Magneten in demſelben Sinne von Neuem zu magnetiſiren. Wenn ſie dadurch bleibend ſtärker wird, ſo war ſie nicht bis zur Sättigung magnetiſirt.

Man könnte vielleicht glauben, daß man durch fortgeſetztes Streichen eine Magnetnadel beliebig verſtärken könne; aber über eine gewiſſe Anzahl von Strichen hinaus hilft ein ferneres Streichen nichts mehr, und dieſe Gränze wird erreicht, wenn der Widerſtand der Coërcitivkraft der zerſetzenden Kraft des ſtreichenden Magneten gleich iſt.

Wenn man eine ſtark magnetiſirte Nadel mit ſchwachen Magneten ſtreicht, ſo verliert ſie wieder von ihrer Stärke.

Einfluß des Härtens auf die Coërcitivkraft. Den größten Här- 24
tegrad giebt man dem Stahle dadurch, daß man ihn hell-rothglühend macht

und dann raſch in kaltem Waſſer ablöſcht. Manchmal löſcht man den Stahl auch in Oel, Seifenwaſſer, Queckſilber u. ſ. w. ab. Die Verſchiedenheit dieſer Methoden ſcheint aber keinen Einfluß auf die Coërcitivkraft des Stahles zu haben.

Der auf dieſe Weiſe vollſtändig gehärtete Stahl hat freilich die größte Coërcitivkraft, er iſt alſo auch eines ſtärkern Magnetismus fähig als der angelaſſene Stahl, allein er bricht wie Glas, und es hält oft ſehr ſchwer, ihn regelmäßig zu magnetiſiren, weil in demſelben leicht Folgepunkte entſtehen. Man zieht deshalb für künſtliche Magnete den angelaſſenen Stahl vor, obgleich ſeine Coërcitivkraft etwas geringer iſt.

Das Anlaſſen des Stahls geſchieht dadurch, daß man den glasharten Stahl über Kohlen allmälig erwärmt. Je mehr nun die Hitze ſteigt, deſto mehr verliert ſich die urſprüngliche Härte und Sprödigkeit. Bei dem allmäligen Erwärmen nimmt der Stahl auf ſeiner Oberfläche brillante Farben an, welche, in regelmäßiger Ordnung auf einander folgend, ſichtbar werden wie die Temperatur ſteigt. Zuerſt geht die natürliche Metallfarbe in blaßroth über, bei zunehmender Hitze wird ſie orange, dunkelorange, violetroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Waſſerfarbe, folgt. Die erſte dieſer Nüancen entſpricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Waſſerfarbe, einer Temperatur von 450°. Bei noch weiterem Erwärmen geht die Farbe in dunkelroth und dann in helles kirſchroth über, wobei ſich dann bei langſamem Erkalten alle Härte verliert.

Man hat nun durch Verſuche gefunden, daß Stahl, welcher bis zur blauen (wie die Uhrfedern), ja bis zur Waſſerfarbe angelaſſen iſt, noch eine hinlänglich ſtarke Coërcitivkraft hat, und daß Stahl von dieſem Härtegrade ſich am beſten für künſtliche Magnete eignet.

Einfluß der Wärme auf den Magnetismus. Wir haben ſchon geſehen, daß ein natürlicher Magnet ſowohl wie ein künſtlicher ſeinen Magnetismus vollſtändig verliert, wenn man ihn bis zum Weißglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetiſchen Eigenſchaften mehr. Dieſe Beobachtung iſt ſchon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenſchaft nicht, wieder magnetiſch zu werden, wenn man ſie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetiſirt. Ihre Coërcitivkraft iſt jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne daß man im Stande iſt, ſie in ihrer urſprünglichen Stärke wieder herzuſtellen, die der künſtlichen Magnete iſt ganz zerſtört, läßt ſich aber durch neues Härten vollkommen wieder herſtellen.

Die Wiedervereinigung der getrennten magnetiſchen Fluida geſchieht nicht auf einmal bei der Rothglühhitze, ſondern nach und nach in dem Maaße

als die Temperatur ſteigt. Um ſich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetſtab, deſſen Stärke man durch die Oscillationsdauer beſtimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verſchiedenen Wärmegraden und laſſe ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100° erwärmt, ſo wird er nach dem Erkalten langſamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200°, ſo wird man finden, daß ſein Magnetismus wieder abgenommen hat u. ſ. w.

Kupffer hat bemerkt, daß man einen Magneten längere Zeit einer beſtimmten Temperatur ausſetzen muß, wenn er allen Magnetismus verlieren ſoll, den er bei dieſer Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Waſſer geſteckt wurde, verlor erſt nach 6 Eintauchungen ihren Magnetismus, ſoweit es für dieſe Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte ſie vor dem erſten Eintauchen 578 Sekunden, nach dem erſten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem ſechsten 652″ und nach dem ſiebenten Eintauchen endlich wieder 652 Sekunden.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert ſeinen Magnetismus ſo vollſtändig, daß er ſich gegen Eiſen, gegen einen andern Magneten ganz indifferent verhält. Ebenſo wird auch glühendes Eiſen von einem Magneten nicht mehr angezogen. Bei dem Eiſen giebt es alſo eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus unempfänglich iſt.

Die Betrachtung dieſer magnetiſchen Gränze führt uns auf den Gedanken, daß es auch für andere Körper eine ſolche magnetiſche Gränze geben könne, und in der That hat der Verſuch dieſe Erwartung beſtätigt, es hat ſich ergeben:

1) daß für Kobalt dieſe Gränztemperatur noch weit über der Weißglühhitze liegen müſſe, denn in den höchſten Temperaturen, welchen man das Kobalt ausſetzte, fand man es noch magnetiſch;

2) daß die magnetiſche Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3) daß die magnetiſche Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4) daß die magnetiſche Gränze des Braunſteins 20 bis 25° über Null liegt.

Einfluß des Lichtes auf den Magnetismus. Morichini war 26
der erſte, welcher behauptete, daß die violetten Strahlen und diejenigen, welche dem violetten Ende des Spectrums nahe liegen, in Stande ſind, Stahlnadeln magnetiſch zu machen. Viele, welche den Verſuch machten,

fanden Morichini's Behauptung nicht beſtätigt, doch iſt jetzt die erwähnte Fähigkeit des violetten Lichts, Stahlnadeln zu magnetiſiren, durch Lady Sommerville außer Zweifel geſetzt. Wenn der Verſuch gelingen ſoll, ſo darf man nicht die ganze Nadel der Wirkung der violetten Strahlen des prismatiſchen Bildes ausſetzen, ſondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden ſoll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieſer Vorſicht werden die Nadeln in einigen Stunden magnetiſch.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums bringen dieſelbe Wirkung hervor, wie die violetten, nur in geringerm Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen ſind wirkungslos, ſelbſt bei dreitägiger Fortſetzung der Verſuche.

Auch Nadeln, welche halbbedeckt unter ein mit Kobalt blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichts ausgeſetzt wurden, erhielten magnetiſche Eigenſchaften. Dieſelbe Wirkung erhält man, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte ausſetzt.

27 **Natürliche und künſtliche Magnete.** Wir haben ſchon geſehen, daß man diejenigen Subſtanzen natürliche Magnete nennt, welche in magnetiſchem Zuſtande aus dem Schooße der Erde hervorgeholt werden, künſtliche Magnete hingegen die, in welchen man durch irgend eine der angeführten Verfahrungsarten den Magnetismus fixirt. Nachdem wir geſehen haben, wie man Magnete macht, bleibt nur noch übrig zu zeigen, wie man ihre Kraft erhalten kann und wie man ſie verbinden muß, um ihre Wirkung zu vermehren.

Man kann einen magnetiſchen Stab in eine ſolche Lage bringen, daß der Erdmagnetismus ein Beſtreben hat, eine theilweiſe Vereinigung der getrennten Flüſſigkeiten zu bewirken. Wenn man z. B. in unſeren Gegenden einen Magnetſtab in vertikaler Stellung ſo hält, daß ſein Südende nach unten gekehrt iſt, ſo wird er geſchwächt werden, und wenn man ihm in dieſer Stellung mehrere Schläge mit einem Hammer gäbe, ſo würde er nach einiger Zeit ganz ſchwach, ja endlich ſogar ſeine Pole ganz umgekehrt werden. Um dies zu verhindern, wendet man Armaturen an. Armaturen heißen Stücke von weichem Eiſen, welche man mit dem Magneten in Berührung bringt, um ſie ſelbſt durch die im weichen Eiſen hervorgebrachte magnetiſche Zerſetzung in Thätigkeit zu erhalten. Um Magnetſtäbe zu armiren, verfährt man am beſten ſo, wie man aus Fig. 40 ſieht. Man legt zwei gleiche Magnetſtäbe ſo parallel neben einander, daß immer der Nordpol des einen nach derſelben Seite gerichtet iſt wie der

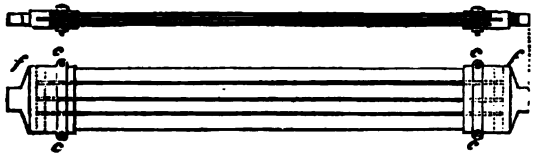
Fig. 40.

Südpol des andern, und fügt dann zwei Stücke von weichem Eiſen *a b* und *c d* ſo an, daß dadurch das Rechteck geſchloſſen wird. Jedes dieſer Eiſenſtücke wird nun natürlich ſelbſt ein Magnet, der auf die Magnetſtäbe *N S* und *N' S'* in der Weiſe zurückwirkt, daß dadurch die getrennten Flüſſigkeiten an den entſprechenden Enden fixirt werden.

Magnetnadeln und Magnetſtäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet ſind, ſind gewiſſermaßen durch die Erde armirt.

Ein magnetiſches Magazin iſt eine Verbindung von mehreren einzelnen Magnetſtäben. Fig. 41 zeigt ein ſolches nach Coulomb's Methode

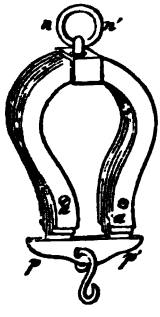
Fig. 41.



conſtruirtes. Es beſteht aus 12 einzelnen Magnetſtäben, die 3 Schichten, jede von 4 Stäben, bilden. Die Stäbe der mittleren Schicht ſind um 2½ bis 3 Zoll kürzer als die der oberen und unteren, ſo daß ſie ungefähr 15 bis 18 Linien auf jeder Seite vorſteht. Alle Stäbe haben übrigens vollkommen gleiche Dimenſionen und ſind in Eiſenſtücken *f* befeſtigt, die als Armatur dienen. Die Meſſingbänder *c c'* dienen dazu, die Stäbe und Armatur gehörig feſt zuſammenzuhalten. Solche große Magnetbündel bleiben feſt liegen, wenn man ſich ihrer zum Magnetiſiren bedient. Die kleineren, die man zum Streichen gebraucht, ſind nach demſelben Principe conſtruirt.

Fig. 42 ſtellt einen Hufeiſenmagnet dar. Er beſteht aus mehreren hufeiſenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben *a* und *a* von Eiſen oder Meſſing halten ſie zuſammen. Jede Platte wird vor dem Zuſammenſetzen für ſich magnetiſirt, indem man das eine Ende auf den Nordpol eines ſtarken Magnetbündels, das andere Ende auf den Südpol eines andern legt und, von der Mitte der Krümmung ausgehend, die Methode des Doppelſtriches anwendet. Ein Ring *n n'* dient, um den Magneten aufzuhängen, und ein Stück weiches Eiſen *p p'*, der Anker, bildet die Armatur. Gute Hufeiſenmagnete können das 10- bis 20fache ihres Gewichtes tragen.

Fig. 42.



Die Armatur der natürlichen Magnete iſt Fig. 43 und 44 dargeſtellt.

Fig. 43.

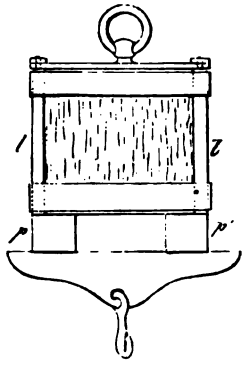
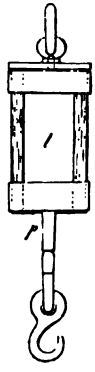


Fig. 44.



Die Theile *l* und *l'* ſind die Flügel der Armatur, *pp'* die Füße. Man macht die Flügel faſt ſo breit wie den Magneten und ungefähr eine Linie dick. Die Dimenſionen der Füße hängen von der Stärke des Magneten ab.

Bei natürlichen Magneten ſowohl wie bei künſtlichen beobachtet man ein merkwürdiges Phänomen, welches man noch nicht genügend zu erklären weiß, nämlich die Schwäche, welche eine Ueberladung zur Folge hat. Nehmen wir an, ein Magnet könne 20 Kil. tragen. Wenn man nun täglich ein kleines Gewicht zufügt, ſo kann man ſeine Tragkraft vermehren, man kann es dahin bringen, daß er 30, daß er 40 Kil. trägt; ſobald aber durch ein zu großes Gewicht der Anker abgeriſſen wird, nimmt die Kraft des Magneten bedeutend ab, er trägt kaum mehr die 20 Kil., von denen man ausgegangen war. Wenn man aber ein geringeres Gewicht anhängt und daſſelbe mit Vorſicht nach und nach wieder vermehrt, ſo kann man es dahin bringen, daß er nach einiger Zeit ſeine frühere Stärke wieder erhält.

Zweite Abtheilung.

Von der Elektricität.

Erstes Kapitel.

Von den elektrischen Wirkungen.

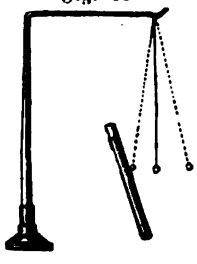
Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen. Man kann sich leicht überzeugen, daß die Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande durchaus die Eigenschaft nicht haben, leichte Körper, wie Goldflitter, Sägespähne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist so groß, daß schon in einer Entfernung von mehr als einem Fuß leichte Körper zu dem anziehenden aufgezogen werden (Fig. 45). Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten. 28

Fig. 45.

Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

Das einfachste Elektroskop ist das **elektrische Pendel** (Fig. 46). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird er aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

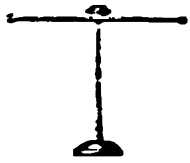
Fig. 46.



Die elektrische Nadel (Fig. 47 auf folgender Seite) ist etwas empfindlicher als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen

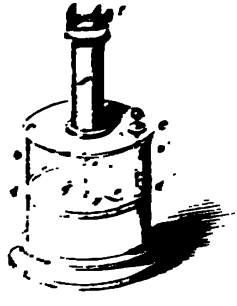
[illegible] wegen wo möglich hohl [illegible]. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- oder Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Fig. 47.



Coulomb's Elektroskop (Fig. 48) ist ein sehr empfindlicher Apparat. Ein Schellackstäbchen $g\,g'$, welches an dem einen Ende ein Scheibchen c von Rauschgold trägt, hängt an einem Cocongefaden f. Das obere Ende des Fadens f ist um ein horizontales Stäbchen t geschlungen, durch dessen Umdrehung der horizontale Schellackhebel $g\,g'$ nach Belieben gehoben oder niedergelassen werden kann. Ein Glascylinder $r\,r'$ schützt die Nadel $g\,g'$ vor dem störenden Einflusse von Luftströmungen; er trägt einen getheilten Kreis $d\,d'$ und ist oben durch einen Deckel $c\,c'$ verschlossen, in welchem sich eine Oeffnung befindet, durch die man die elektrisirten Körper langsam in den Cylinder hineinsteckt, welche dann das Scheibchen c zuerst anziehen, dann aber abstoßen und dadurch die Nadel drehen, wenn ihre Elektricität nicht stark genug ist, um von außen durch das Glas hindurchzuwirken.

Fig. 48.



Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten geringe Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man zerfällte danach alle Körper in zwei große Klassen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Meinung, denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

29) **Leiter und Nichtleiter.** Man war früher der Meinung, daß die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten. Ein

engliſcher Phyſiker Gray machte im Jahre 1727 Verſuche mit einer an beiden Enden offenen Glasröhre. Er wollte ſehen, ob ſie auch elektriſch würde, wenn ſie an beiden Enden mit Korkſtopfen verſchloſſen war; in jener Epoche war nämlich die Wiſſenſchaft noch ſo wenig vorgeſchritten, daß man eben in den Tag hinein experimentirte, weil man noch keine Anſicht, noch keine Theorie hatte, welche den Gang der Verſuche hätte leiten können. Zu ſeinem größten Erſtaunen fand nun Gray, daß die Stopfen ſelbſt elektriſch geworden waren, obgleich der Kork in die Klaſſe der anelektriſchen Körper gehört. Ein in den Kork geſteckter Metalldraht wurde auch elektriſch, ſo lang er ihn auch wählen mochte; ja er begab ſich mit ſeiner elektriſchen Röhre in das erſte, zweite, dritte Stockwerk ſeines Hauſes und ließ den Metalldraht bis auf den Boden herabhängen. Er rieb die Glasröhre, einer ſeiner Freunde näherte dem untern Ende des Drahtes leichte Körperchen und ſiehe, ſie wurden angezogen. Es folgte daraus, daß die Metalle die Eigenſchaft haben, den elektriſchen Zuſtand anzunehmen und fortzupflanzen. Dieſelbe Eigenſchaft haben aber alle anelektriſchen Körper, man nannte ſie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektriſchen Körper dagegen ſind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasſtab durch Reiben an einem Ende elektriſch macht, ſo zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann dieſe Fundamentalwahrheit ſehr gut mit Hülfe der Elektriſirmaſchine nachweiſen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand ſchon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maſchine iſt ein metalliſcher Körper, welcher elektriſch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektriſchen Zuſtand verſetzten Conductor einen langen an Seidenſchnüren aufgehängten Metalldraht, oder bequemer einen cylindriſchen Metallkörper, der auf einem Glasfuße ſteht, in Verbindung bringt, ſo wird das Metall ſeiner ganzen Ausdehnung nach elektriſch; ſobald man es aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung ſetzt, verſchwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasſtab, Nichtleiter der Elektricität, daß ſie Iſolatoren ſind. Ein Leiter der Elektricität kann alſo nur ſo lange elektriſch bleiben, als er iſolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben iſt. Auch die Luft iſt ein Iſolator, denn ſonſt würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführet werden.

Waſſer und Waſſerdampf ſind gute Leiter, deshalb verliert ſich die Elektricität, welche auf einem iſolirten Leiter bei trockner Luft lange haftet, ſehr ſchnell, wenn die Luft feucht iſt.

Auch der menſchliche Körper iſt ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden ſtehend, den Conductor der Elektriſirmaſchine anfaßt, ſo wird alle

Elektricität, welche durch das Drehen derſelben erzeugt wird, ſogleich abgeführt, wenn man aber auf einem ſchlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, ſteht, ſo wird der ganze Körper elektriſch. Man ſieht jetzt auch ein, warum eine Metallſtange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektriſch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erhält, wird ſogleich durch den menſchlichen Körper wieder abgeführt.

Die beſten Iſolatoren werden Leiter, wenn ſich Waſſerdampf auf ihnen niederſchlägt. Es iſt deshalb für den Erfolg elektriſcher Verſuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzſtangen u. ſ. w., welche einen Leiter iſoliren ſollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man ſie, um genauer zu reden, gute oder ſchlechte Leiter nennen, denn abſolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas ſind die ſchlechteſten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen ſind die beſten Leiter.

Von den beiden Arten der Elektricität. Nehmen wir ein einfaches elektriſches Pendel (Fig. 49) zur Hand, deſſen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt iſt. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackſtange nähert, ſo wird das Hollundermarkkügelchen ſtark angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgeſtoßen zu werden. Dieſe Repulſion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden iſt, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf ſeinen natürlichen Zuſtand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgeſtoßen. Daß das abgeſtoßene Kügelchen wirklich elektriſch iſt, geht auch daraus hervor, daß es ſelbſt von Körpern, die ſich im natürlichen Zuſtande befinden (man muß jedoch zu dieſem Verſuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 49.

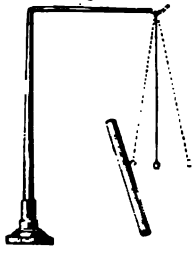
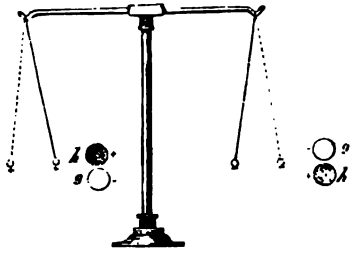


Fig. 50.



Wenn man zwei iſolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasſtange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackſtange elektriſch gemacht worden iſt, ſo beobachtet man folgende merkwürdige Erſcheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasſtange abgeſtoßen wird, wird durch die Schellackſtange angezogen, das vom Schellack abgeſtoßene aber

wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht

Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper. 31 Wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Elektricität in den Leitern verbreitet, hat man geschlossen, daß sie eine äußerst bewegliche Flüssigkeit sey, und aus dem Gegensatze der Glas- und Harzelektricität schloß man ferner, daß es zwei solcher Flüssigkeiten gebe, wie es zwei magnetische Fluida giebt. Wenn diese beiden Flüssigkeiten in einem Körper verbunden sind, wenn sie sich in demselben gegenseitig neutralisiren, so ist er in seinem natürlichen Zustande. Wenn in einem Körper aber die beiden E zersetzt werden, so wird er elektrisch, und zwar positiv, wenn die Glaselektricität, negativ, wenn die Harzelektricität vorherrscht. Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied Statt; diese ist in den magnetischen Partikeln gleichsam eingeschlossen, sie kann aus denselben nicht heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maaße auch $-E$ entwickelt werden. Man kann dies durch einen einfachen Versuch nachweisen. Wenn man irgend zwei Scheiben von verschiedenen Substanzen, deren jede durch einen Glasstab isolirt ist, an einander reibt, so zeigen sie, so lange sie auf einander liegen, keine Spur von Elektricität; sobald man sie aber trennt, ist die eine positiv, die andere ebenso stark negativ elektrisch. Besonders geeignet für diesen Versuch ist es, wenn die eine Scheibe von Glas, die andere aber etwa von Holz und mit einer Lederscheibe überzogen ist, die man mit etwas Amalgam bestrichen hat. Man kann aber auch Scheiben von jeder andern Substanz, Harz, Metall u. s. w. nehmen, und um die Versuche mehr abzuändern, dieselben mit verschiedenen Stoffen, Tuch, Seide, Papier u. s. w. überziehen.

Fig. 51.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maaße enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, daß er besonders geeignet sey, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerie-

ben, poſitiv, mit einem Katzenpelz gerieben, negativ elektriſch. Um die Flüſſigkeiten genau zu bezeichnen, muß man alſo ſagen: die $+E$ iſt diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die $-E$ hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle, mit Wolle oder Seide reibt.

Nehmen wir an, man habe eine Liſte verſchiedener Körper in der Weiſe aufgeſtellt, daß jeder vorangehende, mit allen folgenden gerieben, + elektriſch wird, ſo wird man bald bemerken, daß die geringſte Veränderung der Umſtände dieſe Reihenfolge ändert. Eine Veränderung der Temperatur z. B. kann machen, daß ein Körper in dieſer Reihe mehr hinauf oder herunter zu rücken iſt. Dieſelbe Wirkung hat es oft, wenn man einen Körper mehr polirt oder ſeine Oberfläche rauher macht. Die Farbe, die Anordnung der Molekûle oder der Faſern, ſelbſt ein mehr oder weniger ſtarker Druck kann analoge Erſcheinungen hervorbringen. Ein ſchwarzes ſeidenes Band z. B. wird, mit einem weißen ſeidenen Bande gerieben, immer negativ elektriſch. Selbſt wenn man zwei Stücke deſſelben Bandes kreuzweiſe reibt, ſo wird dasjenige, welches feſtgehalten iſt, poſitiv, das andere negativ elektriſch. Wenn man eine polirte Glasſcheibe auf einer mattgeſchliffenen reibt, ſo werden ſie ebenfalls entgegengeſetzt elektriſch u. ſ. w.

32 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann ſowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch auf größere Entfernungen hin von einem Körper zum andern übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Größe ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektriſirten Körper nehmen ſchlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, ſie verbreitet ſich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Wenn man umgekehrt einen elektriſirten Iſolator an einer Stelle berührt, ſo verliert er nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektriſch. Es läßt ſich dies ſehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange zeigen. Bei guten Leitern verhält ſich die Sache ganz anders. An einem Punkte, mit einem elektriſchen Körper berührt, verbreitet ſich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen iſolirten elektriſirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, ſo verliert er augenblicklich alle ſeine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum andern übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektriſchen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackſtab einen Metallſtab oder den Knöchel eines Fingers nähert, ſo ſieht man einen lebhaft glänzenden Funken überſpringen und hört dabei ein kniſterndes Geräuſch. Wenn der elektriſirte Körper ein iſolirtes Metall von bedeutender Oberfläche iſt, wie der Conductor

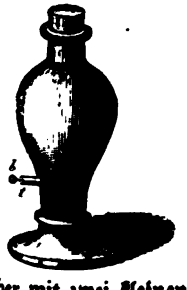
der Elektriſirmaſchine, ſo werden die Funken ſtärker, ſie ſpringen unter Umſtänden ſchon in einer Entfernung von 12 Zoll über; ihr Licht iſt dann blendend hell, und das Geräuſch, welches ſie begleitet, ſehr ſtark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerſt den elektriſchen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, daß man ſelbſt aus dem menſchlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maſchine, Funken entlocken könne.

Um den Verſuch zu machen, ſtellt man ſich auf einen Harzkuchen oder auf einen mit Glasfüßen verſehenen Schemel (Iſolirſchemel) und bringt den Körper mit dem Conductor der Maſchine in leitende Verbindung. Wenn die Maſchine gedreht wird, gewahrt man auf der Haut, namentlich im Geſichte, ein eigenthümliches Gefühl, ungefähr wie wenn man in Spinnengewebe gerathen wäre. Die Haare auf dem Kopfe ſträuben ſich. Wenn ſich dem ſo elektriſirten menſchlichen Körper ein nicht iſolirter Leiter, etwa eine andere Perſon, mit dem Knöchel der Hand nähert, ſo ſpringt ein Funken über, der für das Gefühl um ſo empfindlicher iſt, auf je größere Entfernung er überſpringt.

Wenn die Elektricität von einem iſolirten Leiter auf einen andern übergeht, ſo vertheilt ſie ſich ſtets nach dem Verhältniſſe der Oberflächen; damit alſo ein iſolirter Leiter alle ſeine Elektricität verliere, muß man ihn mit einem andern in Berührung bringen, deſſen Oberfläche unverhältnißmäßig größer iſt, alſo z. B. mit dem Fußboden, denn dadurch iſt er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher ſich ſeine Elektricität ſpurlos verliert, eben weil ſie ſich über eine ſo ungeheure Fläche gleichmäßig vertheilt. Wenn man eine iſolirte elektriſirte Metallkugel mit einer andern gleich großen, gleichfalls iſolirten, aber nicht elektriſchen in Berührung bringt, ſo wird erſtere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektriſirmaſchine eine iſolirte Metallkugel nähert, ſo ſchlagen nur ſchwache Funken über, während man mit einem nicht iſolirten Leiter dem Conductor ſehr kräftige Funken entlocken kann.

Fig. 52.



Eine eben ausgelöſchte Kerze kann durch den elektriſchen Funken wieder angezündet werden. Ebenſo kann man Aether und Alkohol durch den elektriſchen Funken anzünden; um dies zu bewirken, gießt man die Flüſſigkeit in ein Metallgefäß und nähert ihrer Oberfläche den elektriſirten Körper, von welchem der Funken überſpringen ſoll.

Die elektriſche Piſtole iſt Fig. 52 dargeſtellt. Es iſt ein kleines Metallgefäß, welches durch einen Korkſtopfen verſchloſſen iſt. Ein Metalldraht, welcher mit zwei kleinen Kugeln b und b' endigt, reicht in das Gefäß hinein,

ohne mit der Wand in leitender Berührung zu ſtehen. Um dies zu bewirken, iſt der Draht durch Siegellack in eine Glasröhre $l\,l'$ und dieſe in eine Oeffnung der Seitenwand eingekittet. Der elektriſche Funke, welcher durch dieſen Draht geleitet wird, ſchlägt von der Kugel b' auf die gegenüberſtehende Wand über. Wenn nun das Gefäß mit einem explodirenden Gaſe, etwa einer Miſchung von Waſſerſtoff und atmoſphäriſcher Luft, gefüllt iſt, ſo bewirkt der Funke die Entzündung, der Stopfen wird unter lautem Knalle fortgeſchleudert.

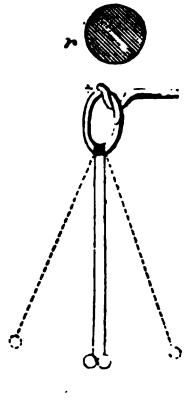
Fig. 53.

Zweites Kapitel.

Elektricität durch Vertheilung.

33 Wir haben geſehen, daß jede der elektriſchen Flüſſigkeiten die gleichnamige abſtößt und die ungleichnamige anzieht. Dieſe Anziehung und Abſtoßung äußert ſich aber nicht allein auf die ſchon zerſetzten Flüſſigkeiten, ſondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Körpers, der ſich im natürlichen Zuſtande befindet, durch die Annäherung eines elektriſchen Körpers vertheilt werden.

Fig. 54.



An einem iſolirenden Haken ſey ein Ring von Metall angehängt, in welchem zwei ganz feine Metallfäden befeſtigt ſind, die runde Kügelchen von Hollundermark tragen. Bei Annäherung eines elektriſchen Körpers r fahren die Kügelchen alsbald aus einander, ſelbſt wenn r noch ziemlich weit entfernt iſt, ohne daß ein Funken überſpringt. Die Divergenz wächſt, je mehr man r nähert. Daß dies nicht die Wirkung von übergegangener Elektricität iſt, geht daraus hervor, daß die Pendel augenblicklich zuſammenfallen, ſobald man r entfernt. Die Elektricitäten, welche in dem Metallringe und den Pendeln vor der Annäherung von r verbunden waren, ſind getrennt worden, diejenige E, welche mit der in r gleichnamig iſt, wird nach den Kugeln abgeſtoßen, die ungleichnamige nach dem Ringe hinaufgezogen. Der genäherte elektriſche Körper r ſey eine geriebene Harzſtange, alſo — elektriſch, ſo wird der Ring + elektriſch, die Kügelchen — elektriſch ſeyn.

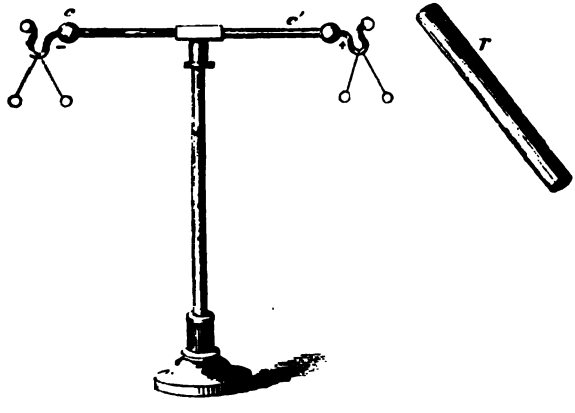
Daß die Elektricitäten wirklich auf dieſe Weiſe vertheilt ſind, läßt ſich ch ein Probeſcheibchen nachweiſen. Ein Probeſcheibchen iſt ein Scheib- n von Rauſchgold oder Goldpapier von 1 bis 2 Centimeter Durchmeſ-

Fig. 55.

ſer, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen Glasſtäbchen befeſtigt iſt. Berührt man mit dieſem Scheibchen den Ring, während der negativ elektriſche Körper r ſich in ſolcher Nähe befindet, daß die Pendel divergiren, ſo wird ſich das Probeſcheibchen mit der Elektricität des Ringes laden, und welche Elektricität dies ſey, erfährt man, wenn man es einem einfachen elektriſchen Pendel nähert, welchem man ſchon zuvor Elektricität mitgetheilt hat. Geſetzt, man habe das einfache elektriſche Pendel durch Berührung mit einer Glasſtange + elektriſch gemacht, ſo wird es in unſerm Falle von dem Probeſcheibchen abgeſtoßen, weil dieſes, wie der Ring, ebenfalls + elektriſch iſt.

Der Verſuch läßt ſich auch noch in folgender Weiſe anſtellen. An jedem der hakenförmig gebogenen Enden eines auf nem iſolirenden Glasfuße befeſtigten Metallſtabes ſey ein Pendelpaar ufgehängt, deſſen Fäden leitend ſeyn müſſen, wozu man ganz dünne letallfäden oder Leinenfäden nehmen kann. Sobald man einen elektri-

Fig. 56.

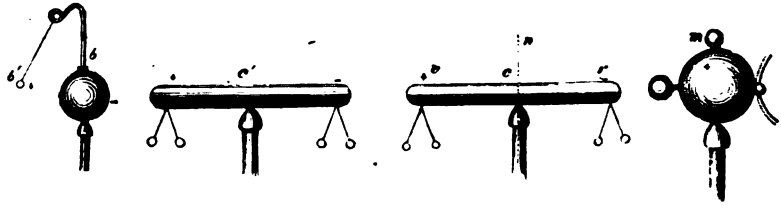


n Körper r nähert, divergiren beide Pendelpaare, die Kugeln des einen r ſind mit poſitiver, die des andern mit negativer Elektricität geladen. bald man r entfernt, fallen die Pendel wieder zuſammen, weil ſich die rennten Elektricitäten ſogleich wieder verbinden.

Ein durch Vertheilung elektriſirter Körper wirkt ſeinerſeits auch wieder theilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die ſich alſo in

ſeiner Wirkungsſphäre befinden, und dieſe Wirkungen können ſich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen. Man braucht nur einen Blick auf die Fig. 57 zu werfen, um zu ſehen, welche Anordnung man etwa treffen

Fig. 57.



kann, um dies durch den Verſuch nachzuweiſen; m iſt der Conductor einer Elektriſirmaſchine, c ein iſolirter Metallcylinder, c' ein zweiter, b eine Metallkugel und b' ein Hollundermarkkügelchen.

Wenn man einen iſolirten Leiter, welcher durch Vertheilung elektriſch gemacht iſt, mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, während der elektriſche Körper durch ſeine Nähe noch vertheilend wirkt, ſo wird alle abgeſtoßene Elektricität in den Boden abgeführt, und der iſolirte Leiter iſt nur noch mit der Elektricität geladen, welche vom vertheilenden Körper r angezogen wird. Wenn man alsdann die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt und dann r entfernt, ſo iſt nun der iſolirte Leiter geladen, und zwar ſeiner ganzen Ausdehnung nach mit derſelben Elektricität.

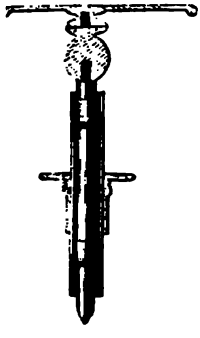
Der Apparat Fig. 54, in eine zweckmäßigere Form gebracht, giebt ein treffliches Elektroſkop ab. Man hat vor Allem dafür zu ſorgen, daß die Pendel ſich in einem Glasgefäße befinden, damit äußere Einflüſſe, wie Luftſtrömungen u. ſ. w., nicht ſtörend einwirken, und dann muß das leitende Syſtem ſorgfältig iſolirt ſeyn. Die Pendel können aus Strohhalmen, Hollundermarkkügelchen, die an feinen Metallfäden hängen, oder Metallblättchen beſtehen. Ganz beſonders ſind die im Folgenden näher beſchriebenen, nach Buff's Angabe conſtruirten Elektrometer als zweckmäßig zu empfehlen.

Fig. 58.

Ein Meſſingſtab, welcher, mit einer iſolirenden Schicht umgeben, in den Hals eines Glasgefäßes eingelaſſen iſt, hat oben eine Schraube, auf welche man nach Belieben eine Meſſingkugel oder eine Metallplatte aufſchrauben kann. Am untern Ende ſind am Stabe zwei Blättchen Rauſchgold befeſtigt. Damit man die Einrichtung deutlicher ſehen könne, iſt dieſer Stab mit ſeinem Iſolirungsſyſteme Fig. 59 (a. f. S.) in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe dargeſtellt. Er iſt nämlich an zwei Stellen mit Seide umwickelt und in eine Glasröhre geſteckt, welche innen und außen mit einer

nen Schicht von Schellack überzogen ist. Auf diese Weise ist das Metall durch eine Luftschicht und an zwei Stellen durch Seide von dem ebenfalls nicht leitenden Rohre getrennt. Die Seidenumwickelung ist so dick, daß man den Metallstab in der Röhre mit einiger Reibung nach Belieben etwas auf- und niederschieben kann.

Fig. 59.



Diese Elektrometer sind weniger geeignet, schwache Elektricitäten sichtbar zu machen, als vielmehr Versuche über die Gesetze der Elektricität anzustellen, wo man hinlänglich starke Elektricitäten anwenden kann. Für manche dieser Versuche ist es zu empfehlen, zwei ganz gleiche Apparate dieser Art zu haben.

in empfindlicheres Elektroskop, welches nach denselben Principien conirt ist und auch als Elektrometer dienen kann, ist Fig. 60 in $\frac{1}{6}$ der irlichen Größe dargestellt. Der abgeschlossene Raum, in welchem die Pendel hängen, ist durch Platten von Spiegelglas gebildet, welche an den Kanten luftdicht verkittet sind. Unter dem Boden dieses Raumes, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, kann von der Seite eine Schieblade eingeschoben werden, welche möglichst dicht schließen muß, und in welcher einige Stücke Chlorcalcium liegen, durch welche die Luft im Apparate trocken erhalten wird. Die Pendel bestehen aus Goldblättchen; im übrigen ist der Apparat wie der vorige construirt.

Fig. 60.

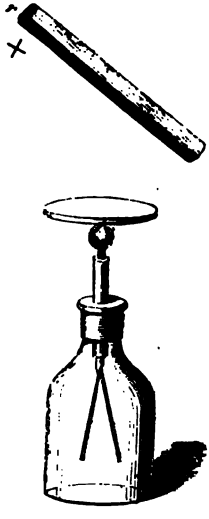
as Strohhalmelektrometer wurde von Volta, das Goldblattelektro: von Bennet zuerst angegeben.

er durch Fig. 54 dargestellte Versuch kann auch mit den eben beschrie: Elektroskopen angestellt werden. Wenn man von oben einen elekm Körper, etwa eine geriebene Glasstange, nähert, so divergiren die el; die Natur der Elektricität, welche in der obern Platte angesamist, kann man durch Probescheibchen ermitteln, sie ist die entgegengevon derjenigen des genäherten Körpers *r*.

enn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend Körpers sey, so muß das Elektroskop schon im Voraus mit einer

bekannten Elektricität geladen werden; dies geſchieht, indem man einen Körper r von bekannter Elektricität nähert und die Platte mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle abgeſtoßene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft iſt. Sie iſt hier gewiſſermaßen gebunden, d. h. ſie kann ſich nicht entfernen, weil ſie durch r angezogen wird, deshalb divergiren die Blättchen nicht; ſobald man aber erſt den Finger und dann den Körper r entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper r in die Platte gebunden worden war, ſich frei über das ganze iſolirte Syſtem, alſo auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit welcher auf dieſe Weiſe das Elektroſkop geladen wird, iſt natürlich die entgegengeſetzte des Körpers r; wenn man alſo eine negative Ladung bezweckt, ſo kann man eine mit Seide geriebene Glasſtange anwenden, indem dieſe poſitiv elektriſch iſt.

Fig. 61.



Nähert man dem ſo geladenen Elektroſkop einen elektriſchen Körper, ſo wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die E des zu unterſuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig iſt, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch ſeine Annäherung werden die Elektricitäten des Elektroſkops noch vollſtändiger zerſetzt als es ſchon vorher der Fall war, es wird noch mehr von der Elektricität, welche ſchon in den Pendeln war, in dieſelben heruntergetrieben, ihre Divergenz muß alſo zunehmen.

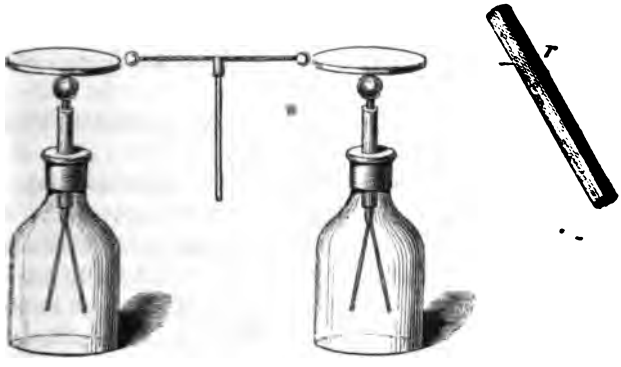
Wenn der genäherte Körper mit derjenigen E ungleichnamig iſt, welche man dem Elektroſkope mitgetheilt hatte, ſo nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird. Wenn man den Apparat mit irgend einer E geladen hat, ſo befinden ſich doch noch unzerſetzte Elektricitäten im Apparate, die durch den genäherten Körper zerſetzt werden; iſt nun die E des genäherten Körpers mit der im Elektroſkope vorhandenen ungleichnamig, ſo wird die ſchon vorhandene in die Platte gezogen, die andere in die Pendel getrieben, die Divergenz muß alſo abnehmen. Bei einer beſtimmten Entfernung des genäherten Körpers werden ſich die Elektricitäten in den Pendeln gerade neutraliſiren, die Pendel werden vollſtändig zuſammenfallen. Wenn man den zu prüfenden Körper noch mehr nähert, ſo divergiren die Pendel von Neuem, aber nun mit der entgegengeſetzten von der E, welche ſie vorher divergiren machte.

Wenn man einem geladenen Elektroſkope einen nicht elektriſchen Leiter

nähert, ſo nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt ſich dies leicht als nothwendige Folge der Geſetze der elektriſchen Vertheilung.

Wenn man zwei gleiche Elektroſkope durch einen iſolirten Leiter verbindet und dem einen einen elektriſchen Körper r nähert, ſo divergiren die Pendel

Fig. 62.



in beiden, und zwar im einen mit $+$, im andern mit $-E$. Nimmt man nun den verbindenden Leiter weg (begreiflicher Weiſe muß man ihn dabei an dem iſolirenden Griffe anfaſſen), ſo können die Pendel nicht wieder zuſammenfallen, wenn man auch den Körper r wieder entfernt, welcher die Vertheilung bewirkte, weil die getrennten Elektricitäten keinen Weg haben, auf welchem ſie wieder zu einander übergehen könnten. Daß die Elektricitäten in beiden Apparaten entgegengeſetzter Natur ſind, kann man daraus erkennen, daß, wenn man einen und denſelben elektriſchen Körper bald dem einen, bald dem andern Elektroſkope nähert, in dem einen die Divergenz zunimmt, während im andern die Pendel zuſammenfallen.

Die oben beſchriebenen Anziehungserſcheinungen finden durch die Geſetze der elektriſchen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der ſich im natürlichen Zuſtande befindet, ein elektriſcher genähert wird, ſo werden ſeine Elektricitäten zerlegt. Dies iſt nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektriſchen Pendels der Fall. Iſt es an einem Seidenfaden aufgehängt, ſo kann die abgeſtoßene E nicht aus dem Kügelchen entweichen, ſie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während ſich die angezogene auf der Vorderſeite anhäuft. Weil aber die angezogene E dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher iſt, ſo iſt die Anziehung ſtärker als die Abſtoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektriſchen Korper hintreibt, iſt der Differenz dieſer beiden entgegengeſetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erſt bei ſehr geringer Entfernung des elektriſchen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energiſcher iſt die Wir-

kung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene E entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

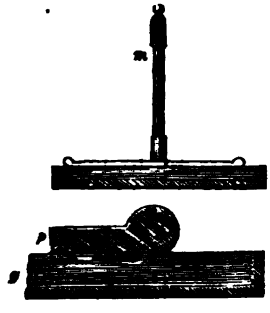
Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwere Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, daß ein Magnet in einem Stück weichen Eisen eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

34 **Dualisten und Unitarier.** Die Anhänger der bisher entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muß in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten seyn, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuß dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stoßen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sich an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstoßung negativ elektrischer Körper muß sie aber die höchst unwahrscheinliche Hilfshypothese zur Hand nehmen, daß die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstoßen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischen Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stößt, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sie sich der Dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Vor mehreren Jahren hat auch Faraday die Grundzüge einer neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen bekannt gemacht, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung, welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nichtleitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so große Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, daß er eine Menge Versuche beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen ließ, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

Das Elektrophor iſt einer der wichtigſten elektriſchen Apparate und kann in vielen Fällen ſelbſt die Elektriſirmaſchine erſetzen. Es iſt von Wilke erfunden und von Volta verbeſſert worden. Es beſteht aus einem Harzkuchen, welcher, wie Fig. 63 zeigt, in eine metallene Form, gleichſam einen Teller von Metall, gegoſſen iſt, oder auch aus einem Harzkuchen, den man nur auf eine etwas größere Platte von Metall auflegt. Es iſt ſehr weſentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichſt eben ſey. Auf dieſen Harzkuchen, deſſen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsſchwanze oder einem Katzenpelze negativ elektriſch gemacht wird, ſetzt man einen mit einer iſolirenden Handhabe *m* verſehenen Deckel von Metall platt auf. Die $-E$ des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die $+E$ wird angezogen, die $-E$ aber abgeſtoßen, die $+E$ wird ſich deshalb im untern, die $-E$ im obern Theile des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel den Knöchel eines Fingers, ſo ſpringt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, ſo wird alle $-E$ ſich entfernen und der Deckel ſich nur mit $+E$ laden, die aber durch die $-E$ des Harzkuchens gebunden iſt, ſo lange der Deckel auf demſelben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an der iſolirenden Handhabe anfaßt, ſo wird dieſe $+E$ frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken poſitiver Elektricität ziehen.

Fig. 63.



Wenn der Harzkuchen frei auf eine Metallplatte aufgelegt iſt, ſo hat man weniger zu fürchten, daß der Kuchen bei eintretendem Temperaturwechſel ſpringt, was wegen der ungleichen Ausdehnung des Metalls und des Harzes bei eingegoſſenen Kuchen leicht der Fall iſt. Die beſte Maſſe für ein Elektrophor iſt Schellack, mit etwas venetianiſchem Terpentin verſetzt.

Für die Metallplatte, auf welche man den Harzkuchen legt, kann man eine Zinkplatte nehmen. Der Deckel iſt in der Regel von Meſſing und mit einem abgerundeten Rande verſehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Staniol überzogen ſind; nur muß dafür geſorgt ſeyn, daß die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieſer ſelbſt, möglichſt eben ſey. Statt der iſolirenden Handhabe von Glas kann man an dem Deckel auch drei Schnüre von Seide befeſtigen.

Wir haben oben nun gezeigt, wie es kommt, daß dem Deckel des Elektrophors eine Ladung poſitiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne daß

die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei ſpielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine iſolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, ſo würde es nicht möglich ſeyn, ſo ſtarke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall iſt, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur ſo lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewiſſe Gränze der Ladung des Kuchens erreicht iſt, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte — E des Kuchens ſogleich wieder zu ihrem Gegenſatze in Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, ſo wirkt die — E des Kuchens vertheilend auf dieſelbe, die — E der Form wird abgeſtoßen, die + E angezogen. Die + E der Form aber zieht auch die — E des Kuchens an und trägt dazu bei, dieſelbe auf dem Kuchen zurückzuhalten. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen, aufhebt, ſo wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluß der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demſelben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht überſprangen.

Die Geſetze des Elektrophors laſſen ſich ſehr wohl mit Hülfe des oben beſchriebenen Elektroſkops Fig. 58 nachweiſen. Man lege auf die Platte des Elektroſkops eine Scheibe von Schellack, deren Durchmeſſer noch etwas größer iſt als der Durchmeſſer der Metallplatte. Wenn, wie es ſeyn muß, die Schellackſcheibe ganz unelektriſch iſt, ſo werden natürlich die Pendel nicht divergiren, ſobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze ſchlägt, divergiren die Pendel, und zwar mit — E, weil durch die — E auf der Oberfläche des Schellacks die + E des Apparats in der Metallplatte gebunden, die — E aber abgeſtoßen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroſkops unten mit dem Finger berührt, wird die abgeſtoßene — E abgeleitet, die Pendel fallen zuſammen, in der Metallplatte bleibt aber + E gebunden, was man daraus erkennt, daß die Pendel mit + E divergiren, ſobald man die Schellackplatte abhebt, ſogleich aber auch wieder zuſammenfallen, wenn man ſie wieder auflegt.

Die eben beſchriebene Anordnung ſtellt uns ein vollſtändiges Elektrophor dar, die Schellackſcheibe iſt der Harzkuchen, die Platte des Elektroſkops iſt die Form. Bei dieſer Form des Verſuchs iſt es nun, wie wir geſehen haben, leicht, jederzeit den elektriſchen Zuſtand der Form nachzuweiſen.

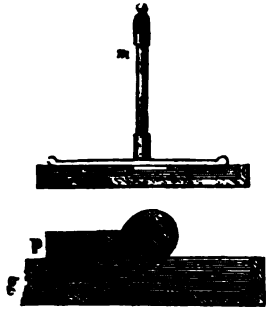
Sobald man auf die obere Fläche der Schellackſcheibe eine, durch eine Glasſtange iſolirte Metallſcheibe, welche der Platte des Elektroſkops ganz gleich iſt und dem Deckel des Elektrophors entſpricht, aufſetzt und mit dem Finger berührt, verändern ſich die Umſtände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckelplatte die — E ableitet, ſo daß ſie nur noch + E enthält, wird die — E des Harzkuchens durch die + E im

Deckel vollständig beschäftigt, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die $+ E$ der untern Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der $+ E$, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem andern die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoß, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, daß die $- E$ des Deckels und die frei werdende $+ E$ der Form zu einander übergehen.

Die Fig. 64 zeigt, wie die Elektricitäten im Elektrophor vertheilt sind, wenn man den Deckel aufgesetzt und noch nicht mit dem Finger hat.

Fig. 64.



Während durch Schlagen mit dem Katzenpelze die obere Fläche des Harzkuchens negativ elektrisch wird, wird die untere Fläche positiv elektrisch, wenn die Platte nicht gar zu dick ist. Die $+ E$ der untern Fläche ist aber bei weitem nicht so stark entwickelt, wie die $- E$ auf der obern, weshalb sich die $+ E$ der untern Fläche nicht nachweisen läßt, so lange die $- E$ auf der andern Seite nicht vollständig beschäftigt ist. Es läßt sich dies wieder sehr gut mit der kleinen Schellackplatte und dem Elektroskope nachweisen. Man setze den Deckel auf die obere Fläche, bringe denselben mit der metallischen Unterlage der Schellackplatte in leitende Verbindung, so daß der Deckel mit $+ E$ geladen und die $- E$ der obern Schellackfläche beschäftigt ist. Hebt man nun die Schellackplatte auf, jedoch so, daß der Deckel darauf sitzen bleibt, so läßt sich die $+ E$ der untern Schellackfläche nachweisen.

Da nach dem Berühren des Deckels die $+ E$ der untern Fläche des Schellacks wirksam werden kann, so ist eine natürliche Folge, daß nach dem Berühren des Deckels in der Form $- E$ gebunden wird. Der Versuch bestätigt dies auch vollkommen, denn wenn man die Schellackplatte mit dem darauf liegenden Deckel von der Platte des Elektroskops abhebt, so divergiren alsbald die Pendel mit negativer Elektricität.

Die Elektrisirmaschine besteht aus einem reibenden Körper, einem 36
Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Pferdehaaren ausgestopftes

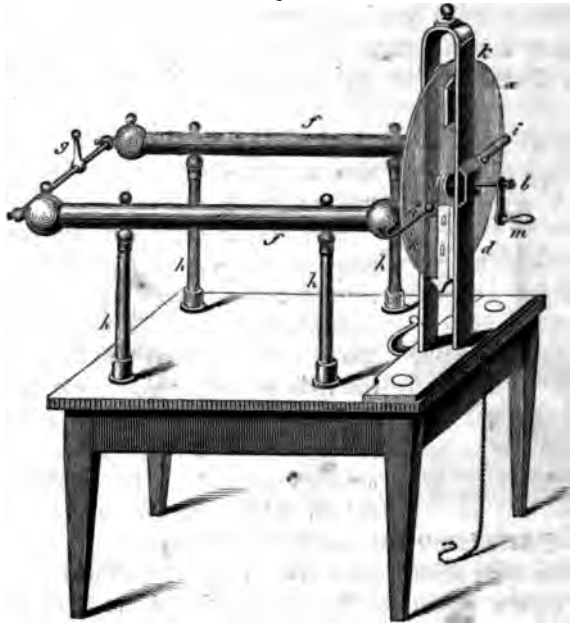
Kiſſen. Die reibende Fläche iſt ein Leder, welches mit Amalgam überzogen iſt.

Der geriebene Körper iſt eine Glasſcheibe oder ein Glascylinder.

Der iſolirte Conductor iſt in der Regel ein Syſtem von hohlen Cylindern aus Meſſingblech, an den Enden kugelförmig abgerundet und von gläſernen Säulen getragen, welche mit Schellackfirniß überzogen ſind.

Man hat der Elektriſirmaſchine mancherlei verſchiedene Einrichtungen gegeben; eine der gewöhnlichſten iſt die Fig. 65 abgebildete. Der Durch-

Fig. 65.



meſſer der Glasſcheibe *a* variirt von 20 bis 60 Zoll. Sie iſt in der Mitte durchbohrt, und durch die Oeffnung geht eine Axe mit der Kurbel *b*. Die Pfeiler *d* tragen zugleich die Scheibe und die beiden Paare von Kiſſen *e* und *e'*, welche die Scheibe vom Rande bis ungefähr auf $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ ihres Halbmeſſers reiben. Der Conductor *f g f'* iſt durch die Säulen *h* iſolirt und endigt mit zwei Backen *i*, welche am Ende des horizontalen Durchmeſſers der Scheibe um dieſelbe herumgreifen.

In Fig. 66 und Fig. 67 ſieht man die Einrichtung und Befeſtigungsweiſe der Kiſſen deutlicher.

Wenn man mittelſt der Kurbel die Glasſcheibe umdreht, ſo wird ſie durch

Fig. 66.

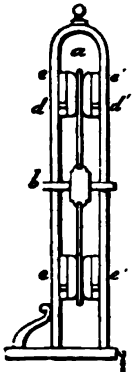
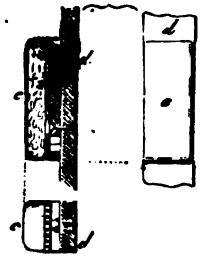


Fig. 67.



das Reiben an dem mit Amalgam überzogenen Lederkiſſen + elektriſch. Nach einer Viertelumdrehung gelangt aber immer eine eben zwiſchen den Kiſſen hervortretende Stelle der Scheibe zu den Backen *i*. Die + *E* des Glaſes wirkt hier zerſetzend auf den Conductor, die — *E* wird angezogen und ſtrömt auf das Glas über, um es wieder in den gewöhnlichen Zuſtand zu verſetzen, d. h. ſeine + *E* mehr oder weniger vollſtändig zu neutraliſiren. Auf dem Conductor bleibt + *E* zurück.

Damit ſich auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Backen *i* die Elektricität des Glaſes nicht ſo leicht in die Luft verliere, iſt hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken von Wachstaffent behängt. Wenn die Maſchine kräftig wirken ſoll, ſo muß man unmittelbar vor dem Gebrauche die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Lappen oder mit gewärmtem, recht trocknem Löſchpapier reiben.

Die — *E* des Reibzeuges ſtrömt in den Boden über, und es iſt in der That nöthig, daß ſie frei abfließt, denn wenn ſie auf dem Kiſſen bliebe, ſo würde ſie bald eine ſolche Spannung erreicht haben, daß ſie theilweiſe auf die Glasplatte überſtrömen und die poſitive Elektricität neutraliſiren würde. Die durch Reiben frei gewordenen Elektricitäten müſſen von der Stelle, wo ſie frei wurden, weggeführt werden, wenn an derſelben Stelle durch fernes Reiben von Neuem Elektricität erregt werden ſoll.

Van Marum's Maſchine iſt Fig. 68 und Fig. 69 dargeſtellt. Sie unterſcheidet ſich von der vorigen hauptſächlich dadurch, daß man nach

Fig. 68.

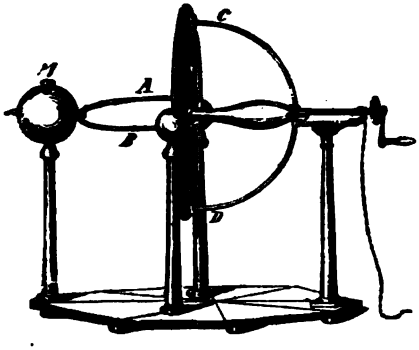
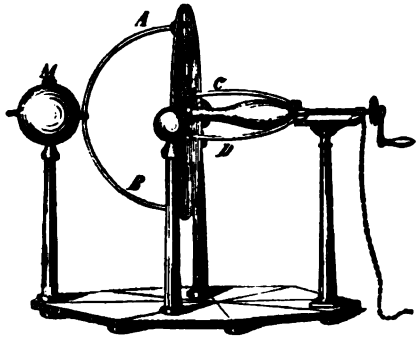


Fig. 69.



Belieben die poſitive oder die negative Elektricität, alſo die E der Glasſcheibe oder des Reibzeugs ſammeln kann. Die beiden Reibzeuge ſind an den Enden des horizontalen Durchmeſſers der Scheibe angebracht und ſind an zwei Hohlkugeln von Meſſingblech befeſtigt, die ſelbſt auf iſolirenden Glasfüßen ſtehen. Zwei bewegliche metallene Bogen $C\,D$ und $A\,B$ müſſen ſtets in einer ſolchen Stellung zu einander ſtehen, daß die Ebene des einen Bogens mit der des andern einen rechten Winkel macht. In Fig. 71 ſteht der Bogen $A\,B$ vertikal, $C\,D$ aber wagerecht. Der Boden $C\,D$ iſt mit den Reibzeugen in Berührung, und da er ſelbſt durch eine Metallkette mit dem Boden in leitender Verbindung ſteht, ſo ſtrömt die negative Elektricität des Reibzeugs ab, während der Conductor M durch den Bogen $A\,B$ mit $+\,E$ geladen wird. Wenn aber dieſe Bogen die Stellung Fig. 70 haben, ſo iſt der Bogen $A\,B$ mit dem Reibzeuge in Berührung, es wird alſo die $-\,E$ dem Conductor M zugeführt, während jetzt die $+\,E$ durch den Bogen $C\,D$ abgeleitet wird.

Fig. 70.

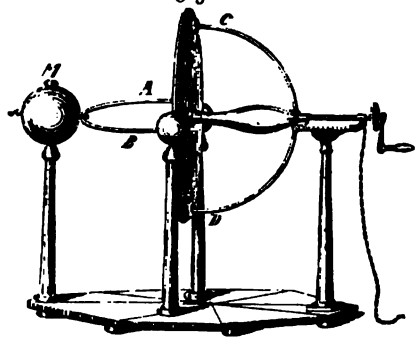
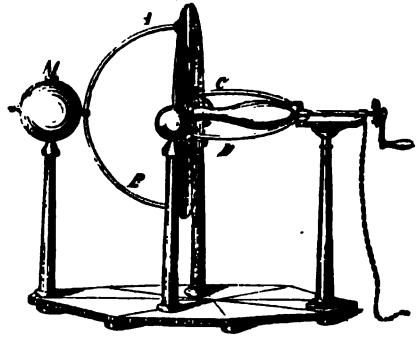


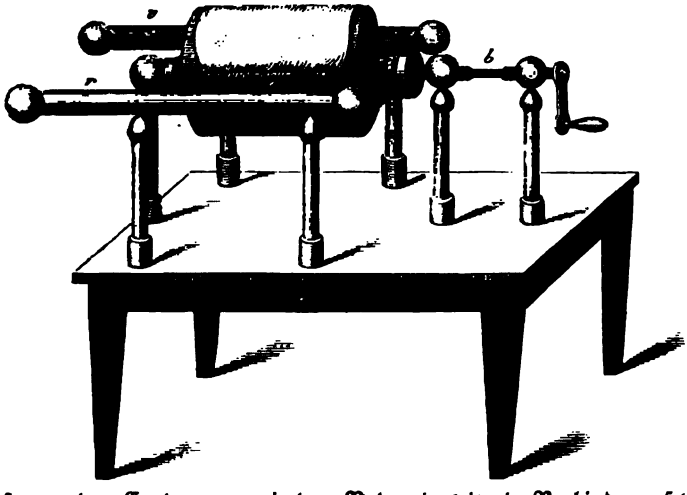
Fig. 71.



Nairne's Maſchine iſt Fig. 72 dargeſtellt. Sie iſt ebenfalls ſo eingerichtet, daß ſie beide Elektricitäten giebt, ſie giebt aber beide gleichzeitig auf verſchiedenen Conductoren v und r. Hier iſt der geriebene Körper ein großer Glascylinder a, welcher um eine horizontale Axe b drehbar iſt und in ſeiner ganzen Länge durch ein einziges Kiſſen e gerieben wird. Dieſes Kiſſen iſt mit dem einen Conductor r in Verbindung. Der Conductor v ſteht dem Kiſſen e diametral gegenüber und iſt an der dem Cylinder zugekehrten Seite mit Spitzen beſetzt. Damit das am Reibzeug e geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor v ſeine Elektricität nicht verliert, iſt die obere Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffent beſetzt, welches

am Reibzeuge e befeſtigt iſt. Der Conductor v iſt natürlich mit $+E$ geladen. Wenn man auf v eine ſtarke Ladung von $+E$ haben will, ſo

Fig. 72.



muß man den Conductor r mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzen. Umgekehrt muß man dafür ſorgen, daß die $+E$ vom Conductor v frei abſtrömen kann, wenn man auf dem Conductor r eine ſtarke negative Ladung beabſichtigt.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaßen ein Urtheil zu haben, ſetzt man das Henley'ſche Quadranten-elektrometer, Fig. 73, auf denſelben, deſſen Einrichtung ſchon aus der Figur klar wird. Je ſtärker die Ladung wird, deſto mehr wird das Korkkügelchen abgeſtoßen, deſto mehr ſteigt es. An einem getheilten Halbkreiſe kann man ſehen, um wieviel Grade ſich das leichte Stäbchen, welches die kleine Kugel trägt, von ſeiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Dieſe Gradzahl iſt jedoch nicht der elektriſchen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maſchine zu drehen anfängt, ſteigt das Kügelchen raſch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es faſt ganz unverändert beibehält, ſo lange man dreht. Es zeigt dies, daß ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwicklung die Spannung auf dem Conductor nicht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, daß, ſo gut man den Conductor auch iſoliren mag, er doch fortwährend Elektricität verliert. Dieſer Verluſt iſt nun um ſo größer, je größer die

Fig. 73.

Spannung der Elektricität iſt; begreiflicher Weiſe wird bei fortgeſetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor ſo groß iſt, daß der elektriſche Verluſt in jedem Zeittheilchen gleich iſt der Elektricitätsmenge, welche in derſelben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Die Größe der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektriſche Verluſt ſehr bedeutend iſt, kann man dem Conductor keine ſo ſtarke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich ſehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

37 **Dampfelektriſirmaſchine.** Vor einigen Jahren machte der Engländer Armſtrong eine eben ſo intereſſante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcaſtle beim Ausſtrömen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektriſche Erſcheinung beobachtet worden ſey; als nämlich der Maſchinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfſtrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belaſtung derſelben zu ajuſtiren, ſchlug ein Funken zwiſchen dem Hebel und ſeiner Hand über, während er zugleich einen ſtarken elektriſchen Schlag erhielt.

Armſtrong fand dieſe Angaben beſtätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkeſſeln ähnliche Erſcheinungen.

Den ausſtrömenden Dampf fand er poſitiv elektriſch.

An einer auf eine iſolirende Unterlage geſtellten Locomotive fand Armſtrong, daß dieſelbe eine ſtarke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die poſitive Elektricität des ausſtrömenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar ſo, daß man ſehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwicklung möchte wohl durch die Dampfbildung oder ſeine nachherige Condenſation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erſcheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entſtehung der atmoſphäriſchen Elektricität gehüllt iſt.

Nach ſpäteren, namentlich von Faraday angeſtellten Verſuchen iſt jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieſer Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausſtrömenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung iſt.

Armſtrong hat die beim Ausſtrömen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Conſtruction einer Elektriſirmaſchine benutzt, welche er Hydroelektriſirmaſchine nennt. Eine koloſſale Maſchine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen laſſen.

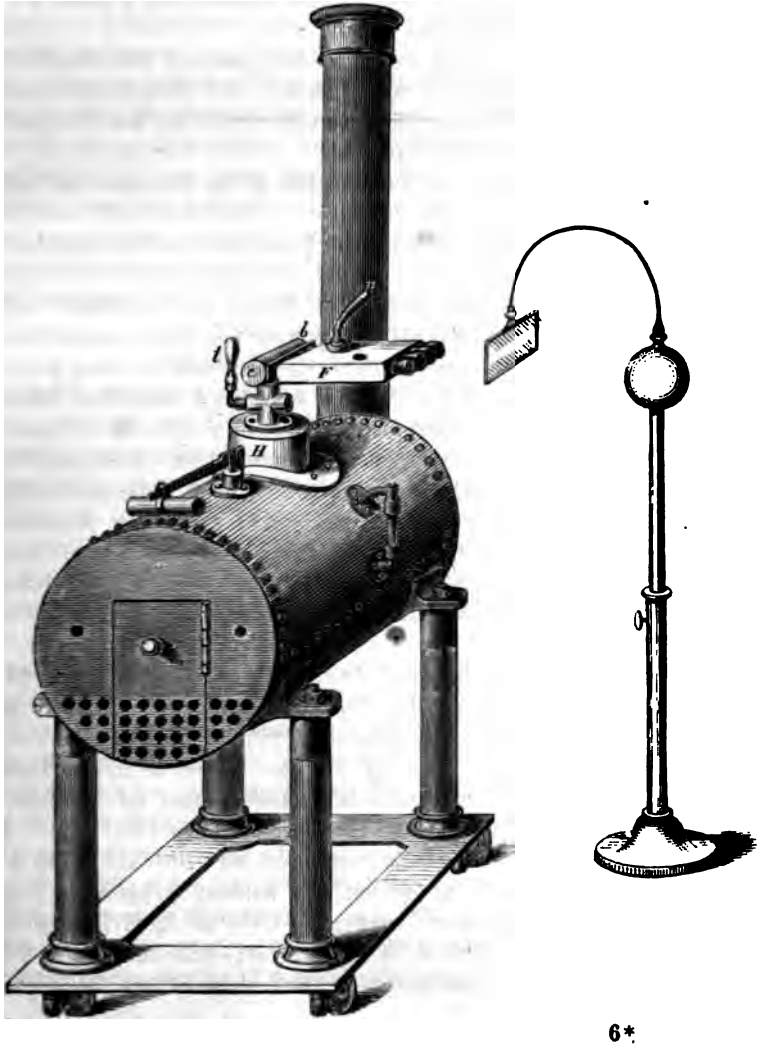
Dieſer Apparat beſteht aus einem cylinderförmigen Dampfkeſſel von 3½ Fuß Durchmeſſer und 6½ Fuß Länge. Der Feuerheerd iſt im Keſſel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Waſſer zu einem Schornſteine geführt. Der Apparat iſt durch 6 ſtarke Glasfüße iſolirt.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Kessel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Fig. 74 stellt eine solche Dampfelektrisirmaschine dar, deren Kessel 44

Fig. 74.



Centimeter im Durchmeſſer hat und 96 Centimeter lang iſt; di
nung derſelben verdanke ich der Güte des Herrn Profeſſors Eiſe
in Karlsruhe. Die Feuerung iſt Innen angebracht, wie man a
Durchſchnitt Fig. 75 erſieht.

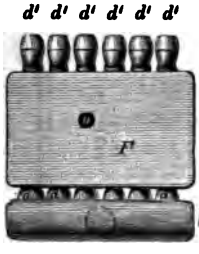
Fig. 75.

Oben auf dem Dampfkeſſel befindet ſich ei
auf welchem ein kurzes durch einen Hahn ve
bares Meſſingrohr befeſtigt iſt; auf dieſes
Rohr können dann die Ausſtrömungsöffnung
geſchraubt werden, die alsbald näher beſchrieb
den ſollen.

Vor dem Hute ſieht man ein Sicherheit
deſſen Gewicht verſchiebbar iſt und welches ſo weit herausgerückt
kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Qua
ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der rechten Seite des Dampfkeſſels iſt ein Glasrohr ang
welches oben und unten mit dem Keſſel in Verbindung ſteht,
man an dieſem Rohre gerade ſo wie bei Locomotiven den Waſſerſt
hen kann.

Fig. 76.



In Fig. 76 iſt der auf den Keſſel
ſchraubte Apparat mit den Ausſtrömungsö
gen beſonders abgebildet, und zwar von o
ſehen. Auf den Hals des Dampfkeſſels w
gußeiſernes Rohr *b c* von ungefähr 24^{cm} Lä
5^{cm} Durchmeſſer aufgeſchraubt. Aus dieſen
tritt dann der Dampf durch 6 horizontal
ren *d d'* aus, welche durch einen Kaſt
Meſſingblech hindurchgehen, welcher mit
Waſſer gefüllt iſt, ſo daß ein Theil de
die Röhren ſtrömenden Dampfes condenſirt wird, was die Wirku
verſtärkt.

Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kaſtens *F* wird ein
ſingrohr aufgeſetzt, welches bei *n* Fig. 74 in den Schornſtein füh
durch welches die im Kaſten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 77.

Fig. 77 ſtellt die in Fig. 76 mit *d'*
neten Ausſtrömungsöffnungen im Durch
und zwar in ½ der natürlichen Größe da
das Ende des Rohres wird ein Meſſingſtü
eingeſchraubt, in welchem Holzpflock *a*
ſteckt, welcher das Ende der Ausſtrömun
bildet. Dieſer der Länge nach durchbohrte
cylinder wird durch einen in das Meſſi

MN eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 76 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *l* Fig. 74, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Stabe befestigt mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Stab steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollständig laden.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben. Um diese anzuschrauben, gehen bei dem beschriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unserer Zeichnung weggelassen sind. Man könnte diese Ausströmungsröhren wohl auch so einrichten, daß man sie bei *a* aufschrauben könnte.

Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden, deshalb der Condensationsapparat *F* Fig. 76. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Aus-

ſtrömungsröhre bringt, ſo wird der Keſſel poſitiv und der Dampf negativ elektriſch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüſſigkeiten bequem in die Ausſtrömungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 78 angedeutet iſt. *a b* iſt ein Stück des Ausſtrömungsrohres; aus demſelben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn geöffnet und geſchloſſen werden kann; über dieſem Hahn befindet ſich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüſſigkeit eingegoſſen wird; ſobald man den Hahn öffnet, fließt die Flüſſigkeit aus dem Trichter in das Ausſtrömungsrohr herab.

Fig. 78.

Wenn durch Terpentinöl der Keſſel poſitiv gemacht worden iſt, ſo verliert ſich dieſer Zuſtand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, ſobald alles Terpentinöl weggeriſſen und verdampft iſt. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieſelbe Wirkung hervor, nur iſt ihre Wirkung bleibender, weil ſie nicht ſo flüchtig ſind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeſtrömt iſt, iſt unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zuſtand des Keſſels wieder zu erzeugen, wie er entſtehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausſtrömte.

Bringt man durch den Hahn Fig. 78 eine Salzlöſung in die Ausſtrömungsröhre, ſo hört augenblicklich alle Elektricitätsentwicklung auf.

Alle dieſe Umſtände beweiſen, daß nur in der Reibung der ausſtrömenden Waſſer- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzuſtandes die Urſache der Elektricitätsentwicklung zu ſuchen ſey.

Drittes Kapitel.

Von den elektriſchen Kräften.

38 **Die elektriſchen Anziehungen und Abſtoßungen verhalten ſich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.** Dieſes Fundamentalgeſetz der elektriſchen Wirkungen iſt wie das entſprechende Geſetz für die magnetiſchen Kräfte von Coulomb aufgeſtellt und bewieſen worden. Er wandte hier ganz ähnliche Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektriſchen Nadel.

Man kann die Drehwage in der Geſtalt Fig. 79 und in der Form Fig. 80 zu elektriſchen Verſuchen anwenden, nur muß man dafür ſorgen,

Fig. 79.

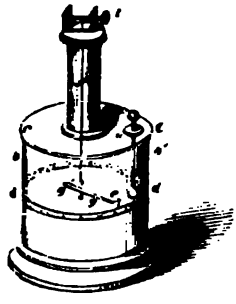
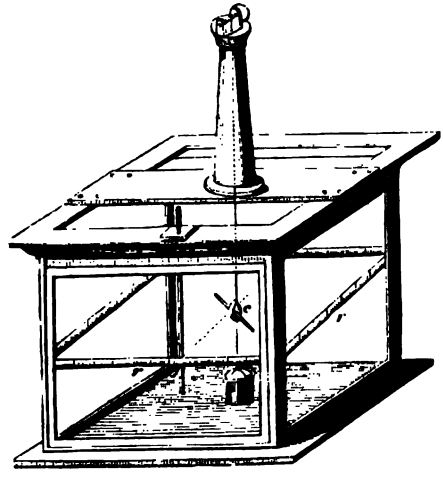


Fig. 80.



daß alle Wände möglichſt gut iſoliren. Der Boden und das Geſtell wird deshalb von trocknem Holze gemacht und überfirnißt; die Seitenwände ſind entweder durch einen Glascylinder oder durch 4 Glasplatten gebildet, und auch der Deckel iſt von Glas. Dieſer Deckel hat zwei Löcher, eins in der Mitte, über welchem die Röhre ſich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektriſirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Das Mikrometer am obern Theile der Röhre iſt gerade ſo eingerichtet, wie zu den magnetiſchen Verſuchen. Der Silber- oder Meſſingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an ſeinem untern Ende eine leichte Nadel von Schellack, die ſehr gut äquilibrirt ſeyn muß und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmeſſer hat. Auf den Boden ſetzt man ein Schälchen, in welchem ſich einige Stücke Chlorcalcium befinden, welche dazu dienen, die Luft im Innern trocken zu erhalten.

Um mit dieſem Apparate das Geſetz der elektriſchen Abſtoßung zu beweiſen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel eine beſtimmte Elektricität und bringt dann ein mit derſelben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am untern Ende eines vertikal gehaltenen Schellackſtäbchens befeſtigt iſt, wie Fig. 79 zeigt, in den Apparat. Das Mikrometer muß anfänglich ſo geſtellt ſeyn, daß, bevor ein elektriſirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an

der Stelle ſich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeſchobenen Schellackſtabes einnimmt. Bei dieſer Stellung iſt die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am vertikalen Schellackſtabe ſich befindet, mit derſelben Elektricität geladen iſt, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, ſo findet eine Abſtoßung Statt, deren Stärke auf dieſelbe Weiſe gemeſſen werden kann, wie bei den entſprechenden magnetiſchen Verſuchen.

Um zu beweiſen, daß die elektriſchen Abſtoßungen ſich verhalten wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden elektriſchen Flüſſigkeiten, muß man ein Princip anwenden, welches ſchon für ſich ſelbſt einleuchtend iſt: daß nämlich auf zwei leitenden, iſolirten und vollkommen gleichen Kugeln ſich die Elektricität, die ſich auf ihnen befindet, ganz gleichförmig vertheilt, wenn man ſie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektriſirt geweſen, die andere nicht, ſo wird bei der Berührung die erſtere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man zuerſt die Torſionskraft beſtimmt hat, welche der abſtoßenden Kraft zwiſchen der Kugel der horizontalen Nadel und der des eingeſchobenen Stabes für eine beſtimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man die Kugel des Stabes mit einer vollkommen gleichen, auf dieſelbe Weiſe iſolirten, nicht elektriſchen Kugel. Die auf dieſe Weiſe berührte Kugel verliert die Hälfte ihrer Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torſion des Fadens nur halb ſo groß ſeyn, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieſelbe Weiſe der einen Kugel wieder die Hälfte ihrer Elektricität, ſo wird die abſtoßende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. ſ. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jeder der beiden Kugeln in der Drehwage die Hälfte ihrer Elektricität, ſo iſt die Wirkung zwiſchen beiden 4mal ſchwächer als vorher.

Coulomb hat dieſelben Geſetze mit derſelben Schärfe auch nachgewieſen, indem er eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und an ſeinem einen Ende ein Scheibchen von Blattgold trug, welches elektriſirt wurde, unter dem Einfluſſe einer elektriſirten iſolirten Kugel oscilliren ließ. Iſt die Kugel und das Scheibchen mit derſelben Elektricität geladen, ſo bildet das Scheibchen das der Kugel abgewendete Ende des elektriſchen Pendels; ſind aber die Elektricitäten des Scheibchens und der Kugel entgegengeſetzt, ſo iſt das Scheibchen der Kugel zugewendet. Aus den Oscillationen des elektriſchen Pendels kann man auf die daſſelbe beſchleunigenden Kräfte in ähnlicher Weiſe ſchließen, wie wir bei den magnetiſchen Oscillationen geſehen haben, nur iſt hier die Wirkung zwiſchen der Kugel und der Scheibe die einzige Urſache der Oscillationen, während wir dort noch die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel in Rechnung bringen mußten. Berückſichtigt man,

daß die Intensitäten der auf das elektrische Pendel wirkenden Kräfte sich unter einander verhalten wie die Quadrate der Zahl der Oscillationen, welche unter ihrem Einflusse die Nadel in gleichen Zeiten macht, so folgt aus diesen Versuchen, daß die elektrische Wirkung im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrischer Leiter 39
noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden läßt, so muß man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, daß er möglichst langsam vor sich gehe, daß er regelmäßig und meßbar werde, damit man ihn in Rechnung bringen kann. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich.

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht Statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und Seide Statt, auf welche sich der Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniß zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab, ebenso wie eine Schellackstange, schwache Ladungen vollkommen, wenn er 15 bis 20 Zoll lang ist. Man muß freilich durch Erwärmen dafür sorgen, daß alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sey. Da sie jedoch nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, daß sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen, und man begreift wohl, daß eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit großer Kraft abstoßend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Daß ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sey, erkennt man daran, daß er, mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt größtentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, daß, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläs't, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläs't, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Wahrscheinlich aber rührt nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfes her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust Statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen. Nehmen wir z. B. an, daß die beiden Kügelchen durch eine Drehung

von 250° des obern Mikrometers in einer Entfernung von 20° gehalten werden, so ist die Torsionskraft, welche der abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält, $250^\circ + 20 = 270^\circ$. Nach und nach aber nähern sich die Kügelchen, und man muß, nach 1 Minute etwa, die Torsion um 6° verringern, um die Entfernung von 20° wieder zu erhalten. In einer Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6°. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270°, am Ende derselben gleich 264°; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also $\frac{270 + 264}{2} = 267^\circ$. In einer Minute betrug also der Verlust $^6/_{267}$ oder $^1/_{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft ermittelt. An trocknen Tagen war er $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $^1/_{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seyen es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines außerhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestoßen. Die Stärke der Abstoßung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muß man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber die eine Flüssigkeit von der andern getrennt ist, sobald ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Elemente dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander als nur irgend möglich ist, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Innern dieser Dispersion kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität verbreitet sich deshalb auf ihre Oberfläche und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets

auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derſelben durch die Luft zurückgehalten, welche ſie gleichſam wie eine nichtleitende Schicht umgiebt.

Daß die freie Elektricität ſich nur auf der Oberfläche der Körper, und nicht im Innern derſelben, verbreitet, beweiſen auch folgende Verſuche.

1) Man elektriſire zwei vollkommen gleiche iſolirte metallene Kugeln, *a* und *b*, während ſie mit einander in Berührung ſind, ſo wird ſich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne ſie nun, berühre die Kugel *a* mit einer iſolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenſo großen iſolirten maſſiven Kugel, ſo wird man mit Hülfe des Probeſcheibchens finden, daß *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die maſſive Kugel hat alſo nicht mehr Elektricität weggenommen als die gleich große Hohlkugel.

2) Eine Kugel von 7 bis 8 Zoll Durchmeſſer, mit einer 8 bis 10 Linien breiten, 1 Zoll tiefen Höhlung werde iſolirt und mit Elektricität geladen. Wenn man nun die Oberfläche dieſer Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probeſcheibchen berührt, ſo ladet es ſich mit Elektricität, wenn man aber den Boden der Höhlung mit dem Probeſcheibchen berührt, ſo bleibt es in ſeinem natürlichen Zuſtande.

Fig. 81.

3) Elektriſirt man eine durch einen Glasfuß iſolirte Metallkugel, hüllt man ſie nachher in zwei metallene hohle Halbkugeln von demſelben Durchmeſſer ein, die man an iſolirenden Handhaben anfaſſen kann, ſo findet man, wenn man die Halbkugeln raſch wieder wegnimmt, daß alle Elektricität auf ſie übergegangen iſt und daß auf der Kugel ſelbſt gar keine freie Elektricität zurückgeblieben iſt.

Elektriſirt man eine iſolirte Kugel, ſo erfordert ſchon das Geſetz der Symmetrie, daß ſich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß ſie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Verſuch kann man ſich davon überzeugen, daß es wirklich ſo iſt. Berührt man nämlich die elektriſirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probeſcheibchen, ſo bildet daſſelbe hier gleichſam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet ſich auf dem Probeſcheibchen gerade ſo viel Elektricität, als ſich auf dem bedeckten Kugelſtücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, ſo kann man die Stärke ſeiner elektriſchen Ladung mit Hülfe der Drehwage beſtimmen. An welcher Stelle der Kugel man aber auch das Probeſcheibchen aufſetzen mag, überall erhält es eine gleich ſtarke Ladung.

Anſtatt die Stärke der Ladung, welche das Probeſcheibchen annimmt, mit der Drehwage zu meſſen, kann man auch das Elektrometer Fig. 60 anwenden, und aus der Divergenz der Goldblättchen, welche man erhält, wenn man die Platte des Elektrometers mit dem Probeſcheibchen berührt,

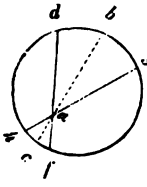
auf die Stärke ſeiner Ladung ſchließen. Wo man auch die Kugel mit dem Probeſcheibchen berührt haben mag, man erhält gleiche Divergenz der Goldblättchen.

Wenn der iſolirte Leiter, den man elektriſirt, nicht kugelförmig iſt, ſo findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektriſche Schicht, welche ſich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Unterſucht man mit Hülfe eines Probeſcheibchens die Dichtigkeit der Elektricität an verſchiedenen Stellen eines Cylinders (Fig. 82) mit abgerundeten Enden, ſo findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität an den Enden weit größer iſt als in der Mitte. Bei einem Cylinder dieſer Art, welcher 8 Zoll lang war und 2 Zoll Durchmeſſer hatte, verhielten ſich die Intenſitäten in der Mitte, 2 Zoll vom Ende 1 Zoll vom Ende und am Ende ſelbſt wie 1 : 1,25 : 1,8 : 2,3. Von der Mitte ausgehend, ändert ſich alſo anfangs die Intenſität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raſchen Verhältniß zu. Noch weit ſtärker wird das Probeſcheibchen geladen, wenn man es ſo an das Ende des Cylinders hält, daß ſeine Fläche nicht auf dem Cylinder aufliegt, ſondern daß ſeine Ebene in die Verlängerung der Cylinderaxe fällt. Ganz ähnliche Reſultate erhält man, wenn man den elektriſchen Zuſtand einer Scheibe, etwa eines Elektrophordeckels, unterſucht.

Fig. 82.

Daß eine ſolche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern ſtattfinden müſſe, welche nach verſchiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt ſich auch ſchon durch eine einfache Betrachtung einſehen. Wenn ſich auf der Oberfläche eines iſolirten Leiters freie Elektricität verbreitet, ſo bleiben doch die Theilchen im Innern in ihrem natürlichen Zuſtande. Ein Element der Oberfläche wirkt aber zerſetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten eines Theilchens im Innern, es zieht die ungleichnamige E an und ſtößt die gleichnamige ab, es würde alſo eine Zerſetzung erfolgen, wenn nicht von dem diametral gegenüberliegenden Element der Oberfläche eine ganz gleiche Wirkung im entgegengeſetzten Sinne ausgeübt würde. Es ſey a (Fig. 83) ein Punkt im Innern einer elektriſirten Kugel. Ziehen wir durch a irgend eine gerade Linie, ſo trifft dieſe die Kugeloberfläche in zwei Punkten, b und c. Denken wir uns nun eine Linie df, welche mit bc einen ganz kleinen Winkel macht, um die Axe bc umgedreht, ſo entſtehen zwei Kegel, welche mit ihren Spitzen in a zuſammentreffen, und deren Grundflächen zwei Stückchen der Kugeloberfläche ſind, die in unſerer Figur freilich nur als Linien, dg und hf, erſcheinen. Man ſieht nun leicht ein, daß, wenn die

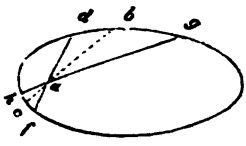
Fig. 83.



Kugel elektriſirt iſt und ſich die Elektricität im Zuſtande des Gleichgewichts befindet, daß dann die über das Flächenſtück dg verbreitete Elektricität die Wirkung aufheben müſſe, welche die auf dem Flächenſtück hf befindliche auf den Punkt a ausübt. Nun aber ſind die Entfernungen ab und ac nicht gleich, dg liegt weiter von a als hf, wenn alſo die Wirkungen gleich ſeyn ſollen, ſo muß ſich auf dem Flächenſtück dg mehr Elektricität befinden als auf hf, und zwar müſſen ſich die Mengen der Elektricität auf dg und hf verhalten wie die Quadrate von ab und ac. Wäre z. B. ac halb ſo groß wie ab, ſo müßte auf dem Flächenſtück dg 4mal ſo viel Elektricität verbreitet ſeyn als auf hf. Nun aber verhalten ſich die Flächenſtücke dg und hf ſelbſt wie die Quadrate von ab und ac, d. h. in unſerm Falle iſt die Fläche dg 4mal ſo groß als die Fläche hf. Wenn aber auf einer Fläche, welche 4mal ſo groß iſt als eine andere, 4mal ſo viel Elektricität verbreitet iſt als auf dieſer, ſo iſt klar, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf beiden Flächen gleich groß ſeyn müſſe.

Wenden wir daſſelbe Raiſonnement auf einen nicht kugelförmigen Körper an. Die Elektricität auf dem Flächenſtück dg, Fig. 84, die wir mit M bezeichnen wollen, und die auf dem Flächenſtück hf, die mit m bezeichnet ſeyn mag, werden auf den Punkt a gleiche und entgegengeſetzte Wirkungen hervorbringen; wenn ſich M und m verhalten wie ab^2 zu ac^2. Wenn ſich nun die Flächenſtücke dg und hf ebenfalls verhielten wie ab^2 zu ac^2, ſo würde daraus folgen, daß die Dichtigkeit der E auf beiden gleich groß wäre. Dies iſt aber nicht der Fall; das Flächenſtück dg iſt weit größer, als dieſem Verhältniſſe entſpricht, eine $n$fache Elektricitätsmenge verbreitet ſich alſo nicht über eine $n$fache Fläche, ſondern über eine bei weitem größere, die Dichtigkeit der E auf dg muß alſo weit geringer ſeyn, als die Dichtigkeit der E auf hf.

Fig. 84.



Je mehr ſich die Geſtalt eines Körpers von der Kugelgeſtalt entfernt, deſto ungleichförmiger vertheilt ſich die Elektricität auf ſeine Oberfläche, ſie häuft ſich an den von ſeiner Mitte entfernteren Enden am meiſten an, und zwar um ſo mehr, je dünner ſie ſind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem iſolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieſer Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte iſt, deſto eher wird ſie den Widerſtand der Luft, welche ſie auf dem Körper zurückzuhalten ſtrebt, überwinden können. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität ſo leicht ausſtrömt. Man kann eine Menge von Verſuchen anſtellen, durch welche dieſes Vermögen der Spitzen bewieſen wird, wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1) Wenn man den Conductor einer Elektriſirmaſchine mit einer Spitze

verſieht, ſo iſt es unmöglich, den Conductor ſo zu laden, daß man aus ihm Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maſchine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

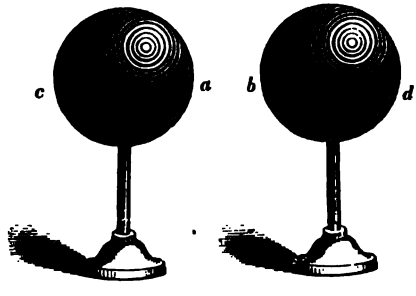
2) Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung ſteht, dem Conductor der Maſchine bis auf einige Decimeter nähert, ſo iſt es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, ſie ſtößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an, dieſe ungleichnamige Elektricität häuft ſich in der Spitze ſo ſtark an, daß ſie nach dem Conductor überſtrömt, um ſeine Elektricität zu neutraliſiren.

Wir werden in der Meteorologie bei der Betrachtung der Blitzableiter auf dieſe Eigenſchaft der Spitzen zurückkommen.

Winkel und ſcharfe Kanten, die ſich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieſelbe Weiſe wie die Spitzen. Man muß deshalb ſorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate conſtruiren will, welche beſtimmt ſind, die Elektricität zu halten.

Wenn einem iſolirten elektriſchen Leiter ein anderer Leiter genähert wird, ſo erleidet die Vertheilung der Elektricität auf den Oberflächen bedeutende Modificationen. Einer elektriſirten iſolirten Kugel werde eine andere gleichfalls iſolirte und mit derſelben Elektricität geladene genähert, ſo findet nicht mehr eine gleichförmige Vertheilung der Elektricität auf den Kugeloberflächen Statt. Weil nämlich die E der einen Kugel die der andern abſtößt, ſo wird an denjenigen Punkten der Kugeln, welche einander zugewendet ſind, die Dichtigkeit der E am kleinſten, an den entgegengeſetzten Punkten aber am größten ſeyn. Fig. 85 ſtellt zwei ſolcher Kugeln dar. In a und b iſt die Dichtigkeit der E ein Minimum, in c und d ein Maximum.

Fig. 85.



Je mehr man nun die Kugeln nähert, deſto mehr wird die Dichtigkeit in a und b vermindert, in c und d aber vermehrt. Bringt man die beiden Kugeln in Berührung, ſo iſt die Dichtigkeit der E an der Berührungsſtelle gleich Null. Wären die beiden Kugeln mit entgegengeſetzten Elektricitäten geladen geweſen, ſo hätte man in a und b die größte, in c und d die geringſte Dichtigkeit gefunden. Die Anhäufung der E in a und b nimmt zu, wenn man die Kugeln nähert, bis endlich ein Funken überſpringt.

Ein nicht elektriſirter Leiter, in die Nähe eines elektriſirten iſolirten gebracht, wirkt ganz in der Weiſe, wie ein mit der entgegengeſetzten Elektri-

citât geladener Körper, weil er ja bei der Annäherung durch Induction elektriſch wird.

Die Kraft, mit welcher die Elektricität von einem iſolirten Leiter ſich zu entfernen ſtrebt, verhält ſich wie das Quadrat der Dichtigkeit der elektriſchen Schicht. Wir haben geſehen, daß die abſtoßende Kraft zweier iſolirten, gleichnamig elektriſirten Leiter verdoppelt wird, wenn man die Ladung des einen verdoppelt; wenn man aber auch die Ladung des andern verdoppelt, ſo wird die zwiſchen beiden wirkende abſtoßende Kraft 4mal größer. Man kann allgemein ſagen, die abſtoßende Kraft, mit welcher zwei gleichnamig elektriſirte iſolirte Leiter auf einander wirken, wird n^2mal größer, wenn ſowohl die Ladung des einen als auch die des andern $n$mal ſo groß gemacht wird. Das Beſtreben der Elektricität, ſich von einem iſolirten Leiter zu entfernen, rührt aber nur daher, daß die E an irgend einer Stelle ſeiner Oberfläche von der gleichnamigen Elektricität abgeſtoßen wird, welche über die ganze übrige Oberfläche verbreitet iſt. Betrachten wir nun irgend zwei Stücke a und b der Oberfläche eines iſolirten Leiters, ſo wird die Elektricität in a diejenige in b abſtoßen. Wenn aber die elektriſche Ladung des ganzen Körpers verdoppelt wird, ſo wird die Dichtigkeit der elektriſchen Schicht ſowohl in a als auch in b doppelt ſo groß ſeyn, als ſie vorher war, die Abſtoßung zwiſchen der Elektricität der beiden Flächenſtücken wird alſo 4mal ſo groß, als ſie vorher war. Bei einer $n$fachen Ladung iſt ſowohl in a als auch in b die $n$fache Dichtigkeit, mithin findet eine n^2mal ſo große Abſtoßung Statt. 41

Es ergiebt ſich daraus, daß der elektriſche Verluſt iſolirter Leiter in einem weit raſcheren Verhältniß zunimmt, als die Größe der Ladung.

Viertes Kapitel.

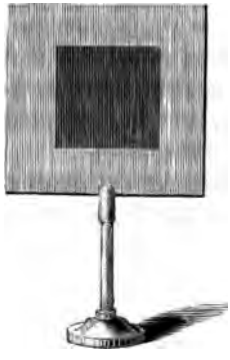
Von der gebundenen Elektricität.

Wir haben ſchon geſehen, daß, wenn zwei iſolirte Leiter, mit entgegengeſetzten Elektricitäten geladen, durch eine Luftſchicht getrennt ſind, die Elektricität des einen die des andern in der Weiſe anzieht, daß man abwechſelnd den einen oder den andern der beiden Körper mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzen kann, ohne daß ſeine Elektricität vollſtändig ab, geleitet werden kann. In Fig. 85 ſey z. B. die Kugel links mit poſitiver- die rechts mit negativer Elektricität geladen, ſo kann man die eine oder 42

die andere Kugel mit dem Finger berühren, ohne daß ſie ihre Ladung verlieren. Die Elektricität auf der einen Kugel wird durch die entgegengeſetzte E auf der andern angezogen, ſie kann ſich nicht entfernen, ſie iſt gebunden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, deſto ſtärker ziehen ſie ſich an, deſto vollſtändiger iſt alſo auch ihre gegenſeitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftſchicht getrennt ſind, ſo kann die Bindung nicht ſehr vollſtändig ſeyn, weil man ſie nicht ſehr nähern kann, ohne daß die Luftſchicht durchbrochen wird und ein Funken überſpringt. Wenn alſo die Bindung möglichſt vollkommen ſein ſoll, ſo müſſen die beiden mit entgegengeſetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, ſondern durch einen andern Iſolator getrennt ſeyn, welcher dem Uebergange der Elektricität einen größern Widerſtand entgegenſetzt; man wählt dazu am beſten Glas oder Harz.

Um die Eigenſchaften der gebundenen Elektricität näher zu unterſuchen, iſt die Franklin'ſche Tafel ganz beſonders geeignet. Fig. 86 ſtellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuß lang ſind. In der Mitte iſt die Glastafel auf jeder Seite mit Staniol belegt, ſo daß das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glaſes beſſer iſolirend zu machen, kann man ſie mit Firniß überſtreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit poſitiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, ſo ſind die beiden entgegengeſetzten Elektricitäten einander ſehr nahe, ſie ſind nur durch die Dicke der Glasſcheibe getrennt, die ſie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande ſind; die Bindung wird alſo hier ziemlich vollſtändig ſtattfinden.

Fig. 86.



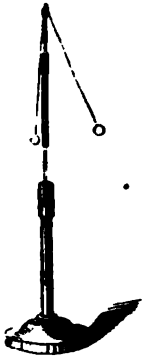
Um die beiden Belegungen der Franklin'ſchen Tafel mit den entgegengeſetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine in leitende Verbindung, ſo wird ein Theil der $+E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vordern Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hintern; und ſobald man dieſe mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzt, ſtrömt die $+E$ in den Boden über und die $-E$ verbreitet ſich auf der hintern Belegung. Die $-E$ auf der hintern Belegung wirkt aber bindend auf die $+E$ der vordern, und dadurch wird es möglich, daß von neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $-E$

auf der hintern Belegung vermehrt. Man kann auf dieſe Weiſe leicht die eine Belegung mit $+E$, die andere mit $-E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen ſein mag, ſo iſt doch die gegenſeitige Bindung nicht vollſtändig. Damit auf der einen Seite die E vollſtändig gebunden ſey, muß auf der andern Seite ein Ueberſchuß von Elektricität, alſo freie E vorhanden ſeyn. Man berühre die eine Belegung der geladenen Franklin'ſchen Tafel, etwa die hintere, mit dem Finger, während die vordere nicht mehr mit dem Conducter verbunden iſt, ſo kann man nur etwas E ableiten, auf der hintern Belegung bleibt immer noch eine ſtarke Ladung $-E$ zurück, welche vollſtändig gebunden iſt. Damit aber dieſe $-E$ vollſtändig gebunden ſey, iſt durchaus erforderlich, daß auf der andern Seite ein Ueberſchuß von $+E$ ſich befinde. Daß es auch wirklich ſo ſey, davon kann man ſich leicht überzeugen. Nachdem man alle nicht gebundene $-E$ der hintern Belegung abgeleitet hat, berühre man die vordere Belegung, ſo wird bei Annäherung des Fingers ein ſchwacher Funken überſpringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der vordern Belegung alle freie $+E$ weggenommen, ſo iſt nun wieder auf der andern Seite freie $-E$, und man kann nun von der hintern Belegung einen ſchwachen Funken entlocken u. ſ. w.

Es läßt ſich dieſer Ueberſchuß an Elektricität, welcher auf der einen Belegung vorhanden ſeyn muß, um die entgegengeſetzte E auf der andern Seite vollſtändig zu binden, auch dem Auge ſichtbar machen. Man befeſtige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektriſches Pendel in der Weiſe, wie man in Fig. 87 ſieht, welche die Scheibe im Durchſchnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität ſich befindet, wird das Pendel abgeſtoßen, während es auf der andern Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher ſich freie Elektricität befindet, ſo fällt das Pendel nieder, während das auf der andern Seite ſteigt. Man kann alſo durch abwechſelndes Berühren auf der einen und auf der andern Seite abwechſelnd das eine und das andere Pendel ſteigen machen.

Fig. 87.



Dieſe Erſcheinung mit den Pendeln läßt ſich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberſchuß von $+E$ iſt, ſo wirkt ſie anziehend ſowohl auf die E der andern Belegung, als auch auf die wenige Elektricität, die ſich etwa im Kügelchen des Pendels befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hintern Belegung abſtoßend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberſchuß der $+E$ das nega-

tive Kügelchen anzieht, iſt größer als die Kraft der Abſtoßung. Leitet man aber die überſchüſſige $+E$ ab, ſo verbreitet ſich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgeſtoßen wird, weil jetzt kein Ueberſchuß von $+E$ auf der andern Seite mehr vorhanden iſt, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, daß man abwechſelnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt und ſo immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder ſie auf irgend eine andere Weiſe in leitende Verbindung ſetzt, ſo findet die Entladung auf einmal Statt, indem die angehäuften entgegengeſetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf dieſem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu dieſem Zwecke gewöhnlich den Fig. 88 dargeſtellten Entlader an. Er beſteht aus zwei gebogenen Meſſingſtäben, bc und $b'c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden ſind. Jeder der Arme des Auslader endet mit einer kleinen Meſſingkugel (b und b') und iſt außerdem noch mit einem iſolirten Handgriff (m und m') verſehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberſtehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung ſpringt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Dieſe Entladung iſt leicht zu erklären. Nehmen wir an, die Kugel b ſey mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher ſich freie Elektricität befindet, ſo wird ſich dieſe freie E über den ganzen Auslader verbreiten; dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der andern Belegung frei, und dieſe wirkt durch die Luftſchicht hindurch, um die entgegengeſetzte in der Kugel b' zu concentriren. Je näher nun die Kugel b' der zweiten Belegung gebracht wird, ein deſto größerer Antheil der E in der berührten Belegung wird nach b' übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftſchicht zu durchbrechen, worauf dann natürlich eine Entladung erfolgt.

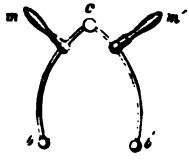


Fig. 88.

Hätte man die Kugel b mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher ſich keine freie E befindet, ſo hätte die freie E der andern Seite zerſetzend auf die verbundenen Elektricitäten der genäherten Kugel b' gewirkt, in Folge deſſen wäre ein Theil der bis dahin gebunden geweſenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach b' überzugehen, bei hinlänglicher Annäherung von b' an die nicht berührte Belegung muß alſo ebenfalls die Entladung erfolgen.

Es iſt nun noch die Frage zu beantworten, welches die Gränze der Ladung ſey, welche man einer Franklin'ſchen Tafel ertheilen kann.

Dieſe Gränze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die ine Belegung in Berührung bringt.

Um die Betrachtung zu vereinfachen, wollen wir annehmen, man habe ie eine Belegung nicht mit dem Conductor der Maſchine in Berührung ebracht, welcher durch die Maſchine ſtets neue Elektricität erhält, ſondern mit einem iſolirten Leiter, dem man eine beſtimmte Ladung ertheilt hat. Sobald man dieſen Leiter mit der einen Belegung in Verbindung bringt, wird ein Theil ſeiner Elektricität auf die Belegung übergehen; ſobald man aber die andere Belegung mit dem Finger berührt, ſtrömt eine bedeutend größere Menge von Elektricität von dem Leiter auf die Tafel über, es bleibt aber immer noch ein, wenn auch geringer, Theil freier Elektricität auf dem Leiter zurück. Damit auf der mit dem Finger berührten Belegung alle E gebunden ſey, muß, wie wir ſchon wiſſen, auf der andern Seite noch freie Elektricität vorhanden ſeyn. Bezeichnen wir mit M die Menge aller Elektricität, welche ſich auf der mit der Elektricitätsquelle berührten Belegung befindet, ſo wird auf der andern Seite nicht eine gleiche Menge M der entgegengeſetzten E gebunden, ſondern eine geringere Menge, die wir mit m bezeichnen wollen. m wird ein aliquoter Theil von M ſeyn, der um ſo größer iſt, je näher die Belegungen einander, je dünner alſo die Glasplatten ſind. Nehmen wir an, es ſey $m = 0{,}98\ M$. Die Elektricitätsmenge m auf der mit dem Finger berührten Belegung bindet aber einen Theil y der auf der andern Seite befindlichen Elektricitätsmenge M, und zwar wird für unſern Fall $y = 0{,}98\ m$ ſeyn. Setzt man nun für m ſeinen Werth $0{,}98\ M$, ſo kommt $y = 0{,}98^2\ M = 0{,}9604\ M$, d. h. von der Elektricitätsmenge M ſind nahe $^{24}/_{25}$ gebunden und $^1/_{25}$ iſt frei. Es wird alſo ſo lange von dem elektriſirten Leiter Elektricität auf die Belegung übergehen, bis die Dichtigkeit der gebundenen E 24mal ſo groß iſt, als die Dichtigkeit der noch außerdem über dieſe Belegung verbreiteten freien E. Das Verhältniß zwiſchen der freien und gebundenen Elektricität ändert ſich, wie ſchon bemerkt wurde, mit der Dicke der Glasſcheibe. Man kann ganz allgemein ſagen, daß die Gränze der Ladung erreicht ſey, wenn die noch freie Elektricität ein Bruchtheil, $^1/_n$, von der gebundenen iſt.

Wenn man die eine Belegung der Tafel mit einer fortdauernden Quelle von Elektricität, etwa dem Conductor der Maſchine, in Verbindung bringt, ſo iſt die Sache ganz dieſelbe. Wenn man die andere Belegung iſolirt läßt, ſo geht eine beſtimmte Menge Elektricität q auf die Belegung über, welche aber frei iſt. Die Menge q wird durch fortgeſetztes Drehen der Maſchine nicht vermehrt, es erſetzt nur, was verloren geht. Wenn auf dem Conductor der Maſchine ein Quadrantenelektrometer angebracht iſt, ſo hat dies ſehr bald eine Stellung *erreicht, welche* dem Maximum der Span-

887308A

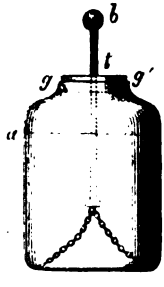
nung entſpricht, die man dem Conductor geben kann. Sobald man aber die andere, bisher iſolirt gebliebene, Belegung mit dem Finger berührt, fällt das Elektrometer auf der Stelle nieder, weil jetzt alle Elektricität vom Conductor gleich nach der Tafel hingezogen und daſelbſt gebunden wird. Die Bindung dauert jedoch nur ſo lange fort, bis das erwähnte Verhältniß zwiſchen der Menge der gebundenen und noch freien Elektricität ſtattfindet. Nun aber iſt q das Maximum der Dichtigkeit der freien E, welche ſich auf der Belegung verbreiten kann, folglich iſt nq die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität, welche man auf der mit dem Conductor verbundenen Belegung anhäufen kann. Iſt man einmal ſo weit gekommen, daß die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität $n$mal ſo groß iſt, als die der E, welche ſich auf der Belegung verbreitet haben würde, wenn die andere Belegung iſolirt geblieben wäre, ſo iſt die Gränze der Ladung erreicht, ein ferneres Umdrehen der Maſchine erſetzt nur den elektriſchen Verluſt.

Nicht immer läßt ſich die angegebene Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maſchinen anwendet, ſo werden die Widerſtände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, ſchon eher überwunden, es erfolgt von ſelbſt ſchon eine Entladung, ehe noch eine Gränze erreicht iſt, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überſchlägt.

43 **Die Leidner Flaſche** iſt eigentlich nur eine veränderte Form der Franklin'ſchen Tafel, ſie beſteht aus einem Glasgefäß, welches außen mit Staniol überklebt iſt, welche Belegung bis auf einige Zoll vom Rande hinaufreicht; innen iſt das Gefäß auf ähnliche Weiſe mit einer Belegung verſehen oder mit einer leitenden Subſtanz, etwa Eiſenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung iſt mit einem Meſſingſtab verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 89 und Fig. 90 ſtellen zwei Formen der Leidner Flaſche dar. Der nicht belegte Theil des Glaſes muß gefirnißt werden. Um die Flaſche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maſchine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äußere mit dem Conductor der Maſchine verbinden.

Fig. 89.

Fig. 90.

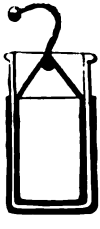


Auch die Leidner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallstab überspringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letzteren Falle ist die Flasche natürlich für die Folge unbrauchbar.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so wählt die Elektricität immer den besten. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der andern Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper; der Draht darf jedoch nicht zu dünn seyn.

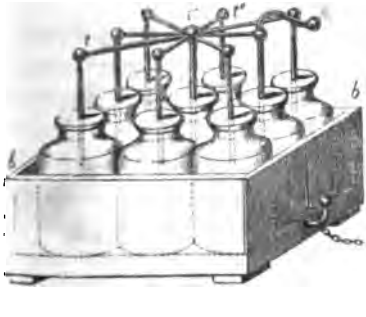
Wenn man eine Leidner Flasche entladen hat und sie dann nur ganz kurze Zeit stehen läßt, so giebt sie einen zweiten freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Der Grund davon ist wohl der, daß der Ueberschuß von Elektricität, welcher sich auf der inneren Belegung befindet, eine neue Ladung veranlaßt. Die Elektricität bleibt nicht bloß auf den metallischen Belegungen der Leidner Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Daß die Sache wirklich so sey, läßt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 91 dargestellt. Nachdem man sie geladen hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäß aus der äußern Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, daß die Flasche noch zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefäßes gehaftet.

Fig. 91.



Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer elektrischen Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 92 dargestellt. Alle äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 92.



Wenn der Entladungsschlag einer Leidner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkührliches Zucken der Nerven her-

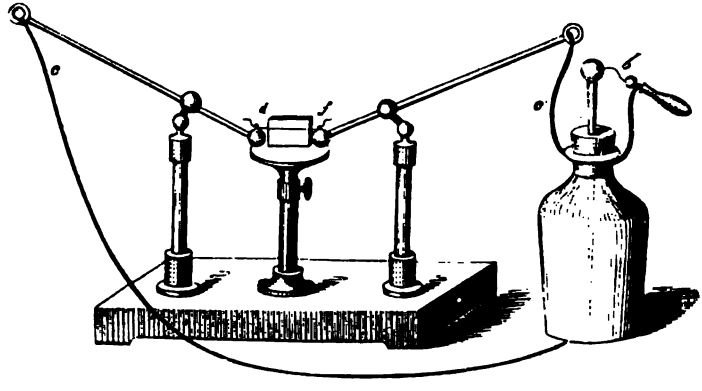
vor. Am beſten macht man den Verſuch, wenn man mit einer Hand die äußere Belegung, mit der andern den Knopf anfaßt. Bei ſchwächeren Ladungen iſt der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar, ſtärker fühlt man ihn auch im Oberarm, und, wenn die Ladung noch ſtärker gemacht wird, ſo bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Bruſt hervor. Sehr ſtarke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Haſen u. ſ. w. durch den elektriſchen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal große Batterien nöthig, mit welchen man ſelbſt noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektriſchen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomiſchen Unterſuchung derſelben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können, nach den Zuckungen aber, welche ſie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um ſie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervenſyſtem angegriffen worden iſt.

Wenn mehrere Perſonen eine Kette bilden, indem ſie einander die Hände geben, und die erſte die äußere Belegung der Flaſche, die letzte den Knopf anfaßt, ſo fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüſſigkeiten kann man mit Hülfe der Leidner Flaſche weit ſicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maſchine. Selbſt gepulvertes Colophonium, welches man auf Baumwolle ſtreut, und Schießpulver kann man mit dem Entladungsfunken der Leidner Flaſche entzünden.

Zu ſehr vielen Verſuchen, die man mit dem Entladungsſchlag der Leidner Flaſche und der elektriſchen Batterie anſtellen kann, iſt der Henley'ſche allgemeine Auslader, welcher Fig. 93 dargeſtellt iſt, ganz beſonders bequem. Der eine Arm iſt durch die Kette *c* mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung, an dem andern Arm iſt eine

Fig. 93.



Kette c' befeſtigt, welche mit der iſolirten Kugel b endigt. Wenn man den Funken durchſchlagen laſſen will, ſo faßt man die iſolirende Handhabe der Kugel b und nähert ſie raſch dem Knopfe der Flaſche. Der Funke ſchlägt bei b und zwiſchen den beiden Kugeln d und f über, welche auf einem iſolirenden Tiſchchen aufliegen.

Wenn man die Kugeln d und f durch einen ſehr dünnen Eiſendraht verbindet, ſo wird dieſer erwärmt, wenn ein ſchwacher Schlag hindurchgeht, eine ſtärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch ſtärkere macht, daß er in einzelnen geſchmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeſchleudert werden.

Ein ſchmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang iſt, wird durch den Entladungsſchlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt ſich und bildet lange in der Luft ſchwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf dieſe Weiſe erhitzt, glühend gemacht, geſchmolzen und oxydirt, wenn man ſie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmeſſer nimmt, ſo bringt dieſelbe Ladung nicht denſelben Effect hervor. Die ſchlechteren Leiter, wie Platin und Eiſen, werden, bei gleichen Dimenſionen, weit ſtärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche beſſere Leiter ſind.

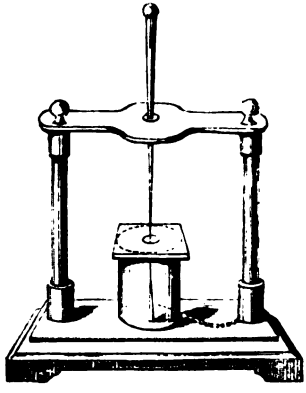
Mit Gold überſponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erſcheinung dar. Das Gold, welches ſie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne daß die Seide auch nur zerriſſen worden wäre. Um dieſen Verſuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weißen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe ſieht.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsſchlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug iſt, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzſcheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmeſſer hat und 3 bis 5 Linien dick iſt, wird von dem Entladungsſchlage durchbohrt. Ebenſo ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. ſ. w. Um den Verſuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwiſchen die beiden Kugeln des Henley'ſchen Entladers, und zwar ſo, daß dieſe Kugeln den eingeſchobenen Körper berühren.

Um eine Glasplatte zu durchſchlagen, muß man dafür ſorgen, daß die Elektricität möglichſt an einem Punkte concentrirt werde, die Glasplatte muß deshalb zwiſchen zwei einander genau gegenüberſtehenden leitenden Spitzen befeſtigt ſeyn. Man kann zu dieſem Zwecke den Apparat Fig. 94 (ſ. f. S.) anwenden. Die Glasplatte wird, bevor man ſie in den Apparat einſetzt, mit einer dünnen Oelſchicht überzogen. Am einfachſten läßt ſich dieſer Verſuch ſo einrichten, daß man zwei Stecknadeln, die

Spitzen einander zugekehrt, mit Hülfe von Wachs auf den beiden Seiten der Glasplatte befeſtigt und dieſe Vorrichtung ſo in den Henley'ſchen Ausladet einſchaltet, daß die Knöpfe der Stecknadeln mit den Kugeln *d* und *f* des Ausladers in Berührung kommen.

Fig. 94.



Wenn man die Elektricität in einer Flüſſigkeit überſchlagen läßt, ſo erſcheint der Funken wie in der Luft; auch das Knacken wird gehört, faſt immer aber wird die Flüſſigkeit mit großer Gewalt auseinander geſchleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Waſſer füllt und ſie an beiden Enden mit Korkſtopfen verſchließt, durch welche die Drähte hindurchgehen, zwiſchen welchen der Funken im Waſſer überſpringen ſoll, ſo wird die Röhre durch den Entladungsſchlag in der Regel zertrümmert.

Fig. 95.

In Gaſen bringt der elektriſche Funken eine ſo große und plötzliche Expanſion hervor, daß ſie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektriſchen Mörſers, Fig. 95, fortſchleudern kann. Kinnersley, welcher zuerſt dieſe merkwürdige Erſcheinung beobachtete, conſtruirte auch einen Apparat, um ihre Intenſität zu beſtimmen. Kinnersley's Thermometer iſt Fig. 96 abgebildet und wohl ſchon aus der Figur ohne weitere Erklärung verſtändlich; wenn zwiſchen Kugeln *b b'* ein Funken überſchlägt, ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre *t t'*. Die Höhe des Steigens iſt ein Maaß für die Expanſion des Gaſes.

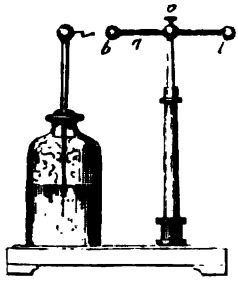
Fig. 96.

Auf der Oberfläche einiger Körper läßt der Funken einen Lichtſchweif zurück, welcher mehrere Sekunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide iſt dieſes phosphoriſche Licht roth oder violet, auf Zucker und kryſtalliſirtem Kalkſpath grünlich.

Eine für quantitative Unterſuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demſelben Fuße (Fig. 97), auf welchem die Flaſche ſteht, iſt ein vertikaler Stab befeſtigt, durch deſſen oberes Ende ein horizontales mit zwei Kugeln endigendes Meſſingſtäbchen hindurchgeht. Mit Hülfe

der Schraube *v* kann man die Kugel *b* der Kugel der Flasche beliebig nähern und von derselben entfernen; der Stab *b l* ist eingetheilt, so daß man jederzeit mit Genauigkeit die Entfernung der Kugel *b* von der Kugel der Flasche ermitteln kann.

Fig. 97.



Der horizontale Stab *b l* steht mit der äußeren Belegung der Flasche durch den vertikalen Stab in vollkommen leitender Verbindung.

Wenn man die Kugel *b* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Stellung der Kugel *b* eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt seyn, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel *b* nur $^1/_2$‴ weit von der Kugel entfernt war, als wenn diese Entfernung 1‴ betrug. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sey, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2-, 3-, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äußere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer großen unisolirten Metalloberfläche in leitende Verbindung. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestoßene positive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äußeren Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maaßflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge ver-

mehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Nachdem ſich Rieß auf dieſe Weiſe ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verſchafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsſchlages genauere Verſuche anſtellen.

Um die Geſetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsſchlag zu ermitteln, wandte er ein ſchon von Harris zu dieſem Zwecke conſtruirtes Luftthermometer an, durch deſſen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsſchlages eingeſchaltet wurde. Aus einer Reihe von Verſuchen, bei denen bald die Größe der Ladung, bald die Anzahl der Flaſchen (die aber alle unter ſich gleich waren) verändert wurde, ergab ſich, daß die Erwärmung des Drahtes dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional iſt, mit welcher die Batterie geladen iſt, ſich aber umgekehrt wie die Oberfläche verhält, auf welche dieſe Elektricitätsmenge vertheilt war. Wenn alſo eine und dieſelbe Flaſche oder eine und dieſelbe Batterie mit der doppelten, dreifachen u. ſ. w. Elektricitätsmenge geladen wird, ſo iſt die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag in einem dünnen Drahte hervorbringt, 4mal, 9mal u. ſ. w. ſo groß. Wenn man aber 2, 3 u. ſ. w. gleiche Flaſchen mit derſelben Elektricitätsmenge ladet, ſo wird die Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsſchlag 2mal, 3mal u. ſ. w. geringer ſeyn, als wenn mit derſelben Elektricitätsmenge nur eine ſolche Flaſche geladen geweſen wäre.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verſchiedener gleich langer Drähte deſſelben Metalls ſich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmeſſer oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querſchnitten derſelben umgekehrt proportional ſind.

In einem 2mal, 3mal u. ſ. w. dickeren Drahte wird alſo derſelbe Entladungsſchlag eine 16mal, 81mal u. ſ. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Maſſen dieſer Drähte 4mal, 9mal größer ſind, ſo iſt klar, daß die in demſelben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. ſ. w. geringer iſt als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, ſo wird bei Entladung derſelben elektriſchen Ladung die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um ſo geringer, je länger man den Schließungsbogen macht und je dünnere Drähte man in denſelben einſchaltet; es iſt dies wohl, wie Rieß ſehr wahrſcheinlich gemacht hat, nur die Folge davon, daß durch Einſchaltung von dünnen Drähten ſowohl als auch durch Verlängerung des Schließungsbogens die Entladung verzögert wird.

Wenn in den Schließungsbogen der Reihe nach mittelſt eines Henley'ſchen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verſchiedener Metalle eingeſchaltet werden, ſo wird durch Entladung gleicher Ladungen

der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44 mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleich ungleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker, 6,44 mal längerer Kupferdraht, der Platin hat also eine 6,44 mal stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6,44 mal geringer als die des Kupfers.

Rieß hat die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher von dem Leitungsvermögen der Metalle reden.

Es sind schon oben, Seite 103, im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Rieß einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, daß die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag seyn kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Rieß die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes für einen Entladungsschlag, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde, in der Schmelzung erkennt deshalb Rieß eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung von Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weißglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei

Platindrähten zeigen die Stücke oft noch gar keine Schmelzung, die erſt bei noch ſtärkeren Ladungen auftritt; die Zerreißung geht alſo der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen ſteigert ſich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerſtoff, und dieſe erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektriſche Schmelzung eintritt, iſt eine mechaniſche Trennung der geſchmolzenen Maſſe ſichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf ſehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität ſchmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zerſplitterung und Erhitzung.

44 **Geſchwindigkeit der Elektricität.** Mit Hülfe der Leidner Flaſche hat man die Geſchwindigkeit zu beſtimmen geſucht, mit welcher ſich das elektriſche Fluidum durch die Körper verbreitet. Iſolirte Metalldrähte, die eine Geſammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsſchlage momentan durchlaufen. Dieſe Verſuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angeſtellt. In dieſer Zeit ſtellte man auch Verſuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Waſſer und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toiſen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trocknem Holze iſolirt, über ein Terrain von ſehr abwechſelnder Natur und über Flüſſe hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden geſteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flaſche auf den Boden geſtellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektriſche Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demſelben zur äußeren Belegung der Flaſche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hinderniſſe ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flaſche ebenſo momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte. Näheres Seite 116.

45 **Die Lichtenbergiſchen Figuren,** welche einen charakteriſtiſchen Unterſchied zwiſchen den beiden Elektricitäten anzudeuten ſcheinen, laſſen ſich beſonders gut mit der Leidner Flaſche darſtellen. Man lade die innere Belegung mit poſitiver Elektricität und laſſe dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzſcheibe ſchlagen. Wenn man dann die Harzſcheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt iſt, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen licopodii, gepulvertes Colophonium u. ſ. w.), ſo zeigt der Staub die Form eines ſtrahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzſcheibe den negativen Funken vom Knopfe überſchlagen, ſo bildet der aufgepuderte Staub ſtrahlenloſe Ringe oder Zonen. Man bedient ſich zu den negativen Figuren am beſten eines Staubes, der leicht poſitiv elektriſch wird wie fein zerriebener Mennig.

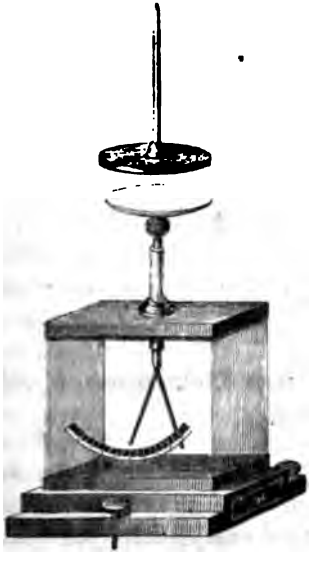
Lichtenberg setzte, um diese Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Ein positiver Funke liefert eine strahlige Figur Fig. 99, ein negativer eine

Fig 98.

Fig. 99.

ringförmige, Fig. 98. Das anzuwendende Pulver muß recht fein seyn und wird am besten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch und setzt sich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Fig. 100.



Der Condensator. Eigentlich ist je- 46
der Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leidner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung merklich zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommeneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede seyn, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 100 sieht. Diese Platte ist möglichst

eben abgeſchliffen und auf ihrer obern Fläche mit einer ganz dünnen Schicht von Firniß verſehen; dieſer Firniß, durch Auflöſen von Schellack in Weingeiſt erhalten, wird, noch ſehr leichtflüſſig, mit einem Pinſel aufgetragen und trocknet dann ſehr raſch. Eine zweite auf dieſelbe Weiſe präparirte Platte, welche mit einem iſolirenden Stiele verſehen iſt, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere geſetzt, ſo daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißſchicht getrennt ſind, ſonſt aber ſo vollkommen als nur immer möglich auf einander paſſen. Dieſe Anordnung entſpricht der Franklin'ſchen Tafel vollkommen, die Glasplatte iſt durch die dünne Schellackſchicht erſetzt, die Platten dienen ſtatt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'ſchen Tafel feſt ſind. Weil die iſolirende Schicht ſo außerordentlich dünn iſt, die Platten alſo einander ſehr nahe ſind, ſo iſt hier eine ſehr vollſtändige Bindung möglich. Bringt man die untere Condenſatorplatte mit einer ſchwachen Elektricitätsquelle in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, ſo wird der Condenſator ganz auf dieſelbe Weiſe geladen, wie die Leidner Flaſche, deren äußere Belegung nicht iſolirt iſt, während die innere mit dem Conductor der Maſchine in Verbindung ſteht. Der ganze Unterſchied liegt nur darin, daß man ein Mal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine ſolche von geringer elektriſcher Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weiſe eine Verdichtung der E Statt.

Iſt der Condenſator geladen, ſo wird die obere Platte abgehoben (und zwar möglichſt vertikal, damit die Berührung beider Platten in allen Punkten in demſelben Moment aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene E der untern Platte frei, ſie geht in die Goldblättchen hinab und bewirkt ihre Divergenz. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir zahlreiche Anwendungen dieſes Condenſators kennen lernen.

Fünftes Kapitel.

Vom elektriſchen Lichte und den Bewegungen elektriſirter Körper.

47 Die ſtärkſten elektriſchen Entladungen, welche auf einem Körper angehäuft ſind, geben nie auch nur den geringſten Lichtſchein von ſich, ſo lange das elektriſche Gleichgewicht beſteht und die elektriſchen Flüſſigkeiten in Ruhe ſind. Die erſte Bedingung für die Erſcheinung des elektriſchen Lichtes iſt

alſo Bewegung der Flüſſigkeiten und Störung des Gleichgewichtes. Dieſe Bedingung iſt immer nöthig, aber keineswegs hinreichend; es bedarf nämlich außerdem noch, daß die Spannung, welche das elektriſche Ausſtrömen bedingt, hinlänglich groß ſey. Während z. B. die Elektricität einer weniger kräftigen Maſchine durch einen Metalldraht in den Boden überſtrömen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkeln wahrnimmt, ſieht man bei Anwendung ſtarker Maſchinen den Draht mit einem hellen Schein umgeben. Die zur Hervorbringung des elektriſchen Lichtes nöthige Spannung hängt von dem Zuſtande, der Geſtalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch welche ſich die Elektricität bewegen muß. Manchmal geben ganz ſchwache Spannungen ein helles Licht, in anderen Fällen reichen wieder die ſtärkſten Spannungen nicht hin, den geringſten Lichtſchein zu geben.

Das elektriſche Licht in der Luft und in anderen Gaſen unter dem Drucke der Atmoſphäre. Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektriſirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Subſtanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektriſchen Ladung ab. Aus eckigen Körpern und aus Spitzen ſtrömt die Elektricität von ſelbſt, ſchon bei ganz ſchwacher Spannung, aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüſchel, die oft mehrere Zoll lang ſind. Bei runden Körpern ſind ſchon ſehr ſtarke Ladungen nöthig, wenn von ſelbſt Funken hervorſpringen ſollen; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung ſtehenden Leiter nähert, ſo ſpringen Funken, nach Umſtänden ſelbſt auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitz ähnlichen Zickzack bilden. 48

Um die Funken zu vervielfältigen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektricität in den Boden überſtrömt, oft unterbrechen, darauf beruhen mehrere Spielereien.

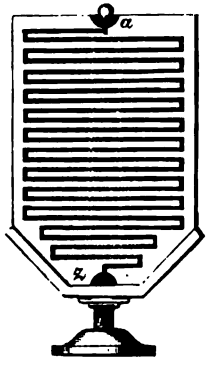
Mit Metallperlen, die auf einen Seidenfaden aufgereiht ſind, jedoch ſo, daß jede Perle von der folgenden durch Knoten mehrere Millimeter weit entfernt gehalten wird, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche ſo lange leuchten, als man die Maſchine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch dieſe Kette in den Boden ſtrömt.

Fig. 101.

Blitzröhren ſind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Staniolblättchen ſo aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa ſo nahe ſtehen, wie man Fig. 101 ſieht. Gewöhnlich klebt man ſie ſo auf, daß ſie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer ſolchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maſchine bringt, während ſie gedreht wird, ſo ſieht man im Dunkeln fortwährend zwiſchen

je zwei Rauten Funken überſpringen, ſo daß eine faſt zuſammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erſcheint.

Fig. 102.

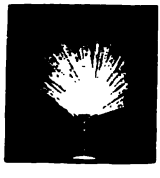


Eine Blitztafel iſt Fig. 102 dargeſtellt. Auf einer Glastafel iſt eine Reihe von Staniolſtreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur ſieht, ſo daß von *a* bis *z* eine metalliſche Leitung ginge, wenn ſie nicht an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun *z* mit der äußern Belegung einer Leidner Flaſche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwiſchen *a* und dem Knopfe der Flaſche herſtellt, ſo ſpringen gleichzeitig an allen Unterbrechungsſtellen Funken über. Man kann auf dieſe Weiſe Namenszüge und allerlei Figuren darſtellen.

Man hat dieſe Spielereien noch auf mannigfache Weiſe abgeändert, dieſe Beiſpiele mögen jedoch genügen.

Der Lichtbüſchel, welchen man im Dunkeln beobachtet, wenn man auf dem Conductor der Elektriſirmaſchine eine Spitze aufſetzt, von welcher die Elektricität ausſtrömt, iſt Fig. 103 dargeſtellt. Die negative (Harz-) Elektricität giebt niemals ſo divergente und große Lichtbüſchel wie die poſitive. Dieſes merkwürdige Phänomen iſt ſehr beachtungswerth, weil es einen unterſcheidenden Charakter der beiden elektriſchen Flüſſigkeiten darzubieten ſcheint.

Fig. 103.



Wenn man eine Metallſpitze in die Hand nimmt und ſie dem Conductor der Maſchine nähert, ſo beobachtet man auch den Lichtbüſchel.

In verdichteter atmoſphäriſcher Luft iſt der Funken einer Elektriſirmaſchine ſehr lebhaft, in Kohlenſäuregas weiß und intenſiv, in Waſſerſtoffgas roth und ſchwach, in Waſſerdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf apfelgrün.

Die Lichterſcheinungen der Maſchinenelektricität ſind eine treue, wenn auch ſchwache Nachbildung der elektriſchen Lufterſcheinungen, welche man bei Gewittern beobachtet. Wir werden in der Meteorologie auf dieſen Gegenſtand zurückkommen.

49 **Elektriſches Licht im verdünnten Raume.** Wenn eine an beiden Enden mit Metallfaſſungen verſehene, mehrere Fuß lange Glasröhre luftleer gemacht iſt und man das eine Ende mit dem Conductor der Maſchine, das andere mit dem Boden in Verbindung ſetzt, ſo ſieht man im Innern *derſelben ein lebhaftes* Leuchten. Da die Elektricität in der verdünnten

Luft nur einen ſchwachen Widerſtand findet, ſo breitet ſie ſich in der ganzen Röhre aus und bezeichnet den Weg, den ſie zurücklegt, durch Feuerſtreifen. Wenn die Verbindung gehörig unterhalten wird, ſo erſcheint das Licht feſt und gleichförmig; wenn man aber von außen her einen leitenden Körper nähert, ſo wird das Licht nach dieſer Seite hingezogen und wird zugleich heller.

Man nimmt zu dieſem Verſuche gewöhnlich gerade, mehrere Zoll weite Glasröhren. Eine etwas andere Form dieſes Apparates iſt Figur 104 dargeſtellt, das Glasgefäß iſt nämlich von elliptiſcher Form. An beiden Enden ſind Metallfaſſungen angebracht; die Faſſung auf der einen Seite iſt mit einem Hahn verſehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeſchraubt werden. Die Faſſung der andern Seite iſt mit einer Lederbüchſe verſehen, durch welche der mit dem Knopf b' endigende Meſſingdraht hindurchgeht, ſo daß man den Knopf b' nach Belieben dem Knopf b nähern kann. Wenn man den Apparat möglichſt luftleer gemacht hat, ſo ſtrömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit Licht. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einſtrömen läßt, ſo wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwiſchen b und b'.

Fig. 104.

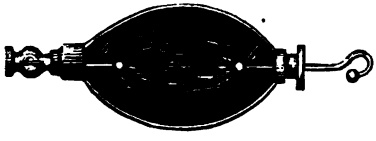


Fig. 105.

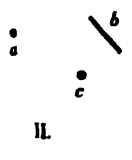
Je mehr Luft man einläßt, deſto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterſcheinung ab, ſie nähert ſich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektriſchen Funkens.

Auch die toricelliſche Leere durchſtrömt die Elektricität mit Lichterſcheinung.

Picard bemerkte zuerſt, daß ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Queckſilber auf und nieder ſchwankt, und bald überzeugte man ſich, daß dieſe Erſcheinung von der durch die Reibung des Queckſilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre.. Um das elektriſche Licht in der toricelliſchen Leere zu beobachten, conſtruirte Cavendiſh das Fig. 105 dargeſtellte Doppelbarometer, deſſen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verſtändlich iſt.

Ueber die Dauer des elektriſchen Lichtes hat Wheatſtone wichtige Unterſuchungen angeſtellt. In Fig. 106 ſey a ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, b ſey ein ebener Spiegel, deſſen Ebene vertikal ſteht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar iſt, c endlich ſey das Auge des Beobachters; abc ſollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig ſteht, ſieht das Auge c das Bild des Punk-

Fig. 106.



tes *a* im Spiegel *b* an einer beſtimmten Stelle, die ſich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; iſt die Drehung raſch genug, ſo erſcheint ſtatt des Kerzenbildes ein Lichtſtreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man ſo den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es ſchon an einer ganz andern Stelle angekommen iſt.

Wenn man nun dafür ſorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektriſcher Funken überſpringt, ſo wird bei raſcher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erſcheinen, wenn der elektriſche Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einen rotirenden Apparat ſo befeſtigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte alſo der Spiegel $\frac{1}{50.360}$ tel, und alſo um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$ tel Sekunde. Nun aber iſt den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeſchwindigkeit des Bildes doppelt ſo groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$ tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn alſo die Dauer des elektriſchen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$ tel Sekunde betrüge, ſo müßte ſchon ſein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erſcheinen.

Nach einander bot nun Wheatſtone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektriſirmaſchine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flaſche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektriſche Funken längs einer ſchraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überſpringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang. eine ununterbrochene Linie von geſchwächtem elektriſchen Lichte erzeugte u. ſ. w. Allein in allen dieſen Fällen erſchienen die reflectirten Bilder, wenn ſie innerhalb des Geſichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weiſe, als ob ſie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines ſolchen elektriſchen Funkens beträgt alſo ſicherlich nicht $\frac{1}{72000}$ tel Sekunde.

Wenn ein Rad raſch umgedreht wird, ſo kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterſcheiden, wenn aber ein raſch rotirendes Rad in einem dunklen Zimmer plötzlich durch einen elektriſchen Funken erleuchtet

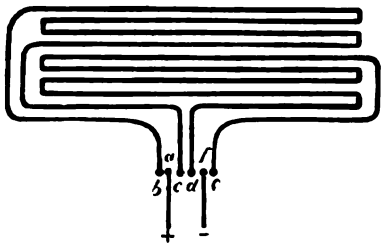
wird, ſo unterſcheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektriſirmaſchine, ſo erblickt man zuweilen einen zuſammenhängenden Lichtſtrom, unterſucht man aber denſelben in dem Spiegel, ſo findet man, daß dieſe Continuität nur ſcheinbar iſt und von einer raſchen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatſtone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geſchwindigkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen ſehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmeſſer haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *a b c d e* und *f* (Fig. 107) gehörig iſolirt befeſtigt. An

Fig. 107.



der Kugel *a* war ein Draht befeſtigt, welcher mit der innern Belegung einer Leidner Flaſche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*. welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll die Kugel *f* gegenüberſtand, von welcher endlich ein Draht zur äußern Belegung der Flaſche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flaſche berührt, ſo mußte, wenn man mit dem an *a* befeſtigten Drahte die Kugel der Flaſche berührte, ein Funken zwiſchen *a* und *b*, ein zweiter zwiſchen *c* und *d*, ein dritter zwiſchen *e* und *f* überſpringen.

Es fragt ſich nun, ſind dieſe 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen ſehr bedeutend iſt?

Bei den von Wheatſtone angeſtellten Verſuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwiſchen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ engliſche Meile. Ebenſo lang war die Länge des Drahtes zwiſchen *d* und *e*, ſo daß der Weg, welchen der elektriſche Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ engliſche Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demſelben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal

war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwischen ihnen überspringenden Funken waren also sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die Bilder der drei Funken so ⋮ gesehen haben, bei rascher Rotation aber erscheinen alle drei in die Länge gezogen, und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt, und zwar so ⟋⟍, wenn der Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so ⟍⟋, wenn die Richtung der Rotation die entgegengesetzte war.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

1) Wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ englische Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen Meilen zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 englische Meilen durchläuft.

Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden. Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden, es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze cp, Fig. 108, welche mit dem Conductor der Maschine in

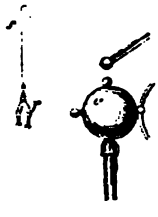
Fig. 108.

Verbindung steht, ist ein an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen ll' so aufgesetzt, daß es sich im Gleichgewicht befindet, aber sich leicht auf der Spitze in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Ein solcher Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den beiden Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz analoge Erscheinung.

Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag. Froschschenkel, 51
die, wie Fig. 109 zeigt, in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor c mit $+E$ geladen wird; jedoch wird er durch Vertheilung elektrisch, die angezogene $-E$ sammelt sich bei r, die abgestoßene $+E$ entweicht durch den Draht s in den Boden. Sobald man nun aus dem Conductor c einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Molekule der Körper durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Mit einem Frosche, welcher schon 5 bis 6 Stunden getödtet ist, würde man den Versuch vergebens anstellen, er gelingt aber sehr gut mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden.

Fig 109.



In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Später, wenn von den Wirkungen des Blitzes die Rede seyn wird, werden wir sehen, daß eine Gewitterwolke durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken kann.

Sechstes Kapitel.

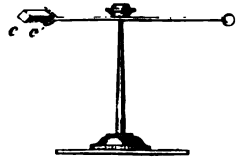
Elektricität, entwickelt durch Druck und Wärme.

Wir haben gesehen, daß, wenn man zwei Flächen durch Reiben an ein- 52
ander elektrisch macht, die eine positiv, die andere negativ elektrisch wird;

wir haben ferner geſehen, daß die Tenſion der Elektricität, welche unter dieſen Umſtänden entwickelt wird, von der Natur der Körper, dem Zuſtande der Oberflächen und ihrer Temperatur abhängt. Dieſe mechaniſche Urſache der Elektricitätsentwickelung iſt jedoch nicht die einzige; durch Veränderungen des Drucks und der Temperatur wird ebenfalls Elektricität frei.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine Metallplatte auf ein Stück Wachstaffet ſetzt und ſie an einem iſolirenden Handgriff aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, ſo findet man, daß die Metallſcheibe negativ, der Taffet poſitiv elektriſch geworden iſt. Dieſer Verſuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, daß auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektriſch werden. Ein Stück Kalkſpath mit ebenen und parallelen Flächen z. B. wird, wenn man es etwas zwiſchen den Fingern drückt, ziemlich ſtark poſitiv elektriſch. Daſſelbe findet auch beim Topas, dem Flußſpath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Subſtanzen Statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, daß die durch Druck elektriſch gewordenen Mineralien die Eigenſchaft haben, mehrere Stunden, ja ſelbſt mehrere Tage lang elektriſch zu bleiben. In dieſer Hinſicht iſt der Kalkſpath ganz beſonders merkwürdig, indem er ſelbſt noch nach 11 Tagen entſchiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieſer Eigenſchaft des Kalkſpaths beruht die von Haüy conſtruirte elektriſche Nadel, welche Fig. 110 abgebildet iſt. Sie iſt der auf Seite 62 beſchriebenen gewöhnlichen elektriſchen Nadel ganz ähnlich, nur iſt an dem einen Ende ſtatt der Kugel von Metall ein Stückchen Kalkſpath *c c'* befeſtigt, welches durch Drücken zwiſchen den Fingern elektriſch gemacht wird.

Fig. 110.



53 **Elektricitätserregung durch Wärme.** Der Turmalin hat die Eigenſchaft, leichte Körper anzuziehen und abzuſtoßen, wenn er erwärmt wird; in Indien, wo dies Mineral ſehr verbreitet iſt, kannte man dieſe Eigenſchaft ſchon vor Jahrhunderten. Eine ſo auffallende Erſcheinung konnte der Aufmerkſamkeit der Reiſenden nicht entgehen; die Holländer machten dieſe merkwürdigen elektriſchen Eigenſchaften des Turmalins in Europa bekannt, wo ſie bald von den Phyſikern näher unterſucht wurden. Ganz beſonders beſchäftigten ſich Canton, Prieſtley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende ſind die wichtigſten Reſultate ihrer Unterſuchungen.

1) Ein durch Erwärmen elektriſch gemachter Turmalinkryſtall zeigt an den beiden Enden ſeiner kryſtallographiſchen Hauptaxe zwei entgegengeſetzte Pole, d. h. an einem Ende iſt er poſitiv, am andern ne-

gativ elektriſch. Die elektriſchen Flüſſigkeiten ſind alſo in dem Turmalin ungefähr auf die Weiſe vertheilt, wie die magnetiſchen Fluida in einem Stahlſtab.

2) Wenn man einen Turmalin, während er elektriſch iſt, quer durchbricht, ſo hat jedes Stück wieder ſeine beiden Pole.

Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwiſchen welchen die elektriſchen Erſcheinungen ſtattfinden. Unterhalb und oberhalb dieſer Gränze verhält ſich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektriſche Polarität. Dieſe Temperaturgränzen ſind gewöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimenſionen ſind dieſe Gränzen faſt dieſelben, ſie ändern ſich aber mit der Länge.

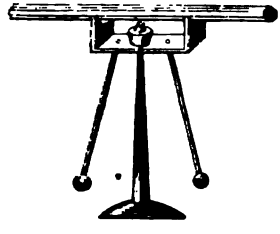
4) Wenn man einen Turmalin regelmäßig erwärmt, d. h. ſo, daß an allen Punkten ſeiner Oberfläche das Steigen der Temperatur daſſelbe iſt, ſo wird das eine Ende poſitiv, das andere negativ, und jeder Pol behält ſeine Elektricität, ſo lange die Temperatur ſteigt.

5) Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektriſch geworden iſt und darauf regelmäßig erkaltet, ſo verſchwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt ſich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens poſitiv war, wird jetzt negativ, der bisher negative wird poſitiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, ſo lange die Temperatur ſinkt.

6) Die polariſchen Eigenſchaften ſcheinen nur von dem Wechſel der Temperatur abzuhängen, ſo daß ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur ſich in drei verſchiedenen Zuſtänden befinden kann, nämlich im natürlichen Zuſtande, den er ſo lange behält, als ſich die Temperatur nicht ändert. Er hat eine beſtimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengeſetzte, wenn ſie im Sinken iſt.

7) Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Dieſe Erſcheinung, welche nicht immer ſtattfindet, hängt vielleicht von der verſchiedenen Temperatur der äußeren und inneren Schichten ab.

Fig. 111.



Um die hier beſprochenen elektriſchen Erſcheinungen des Turmalins zu unterſuchen, haben die meiſten Beobachter den zu unterſuchenden Kryſtall in einem Papierſchiffchen an einem Faden aufgehängt, ſo daß ſeine Längenaxe horizontal zu liegen kam; Haüy legte ihn auf den Fig. 111 dargeſtellten Apparat.

Es giebt noch manche andere Kryſtalle, welche ähnliche elektriſche Eigenſchaften haben wie der Turmalin.

Dritte Abtheilung.

Vom Galvanismus.

Erſtes Kapitel.

Elektricitätsentwickelung durch Contact.

54 **Entdeckung des Galvanismus.** Im Jahre 1789 beobachtete Aloyſius Galvani, Profeſſor der Medicin in Bologna, eine ganz eigenthümliche Erſcheinung. Er hatte zum Zwecke verſchiedener Unterſuchungen Froſchſchenkel präparirt und hing ſie zufällig mittelſt kleiner Haken von Kupfer an einem eiſernen Balcongeländer auf und ſah, daß ſie lebhafte Zuckungen machten. Ein gewöhnlicher Beobachter würde ſich mit einer oberflächlichen Erklärung begnügt und ſich alsbald wieder mit anderen Dingen beſchäftigt haben. Galvani war weniger voreilig in ſeinem Urtheile; mit durchdringender Beobachtungsgabe und ſeltenem Scharfſinne ausgerüſtet, erkannte er in dieſer Erſcheinung ein neues Princip und wurde ſo der Schöpfer eines der wichtigſten Zweige der Phyſik, welcher nach ihm den Namen Galvanismus führt.

Die Froſchſchenkel, an welchen Galvani ſeine Beobachtungen machte, waren in der Weiſe präparirt, wie man Fig. 112 ſieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeſchnitten iſt, wird von dem unteren Theile raſch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelſäule als weiße Fäden erſcheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei unterſten Rückenwirbel weg, ſo daß die Schenkelnerven bloß liegen und die unteren Glieder nur durch ſie mit den oberen Wirbelknochen zuſammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelſäule befeſtigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, ſo oft ſie mit dem eiſernen Geländer in Berührung kamen. So oft die Berührung erfolgt, biegen ſich die Beine und bewegen ſich, als ob ſie noch Leben hätten. Dieſe Wirkung beobachtet man ſelbſt noch nach einigen Stunden, allein ſie nehmen meiſtens ſchnell ab, und gewöhnlich beobachtet man 20 bis 30

Fig. 112.

Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln.

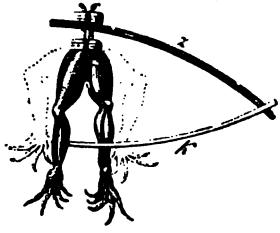
Indem Galvani genau die Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insekten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, daß es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche er mit seinen Lieblingstheorien in Uebereinstimmung brachte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äußeren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht durch den Leitungsbogen, d. h. den Kupferhaken und das Eisen, hindurch und geht von demselben auf die Muskeln in dem Momente über, in welchem sie das Eisen berühren. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leidner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte großes Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Außerdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit großer Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Jede Hypothese ist gut, wenn sie zu Entdeckungen führt, und auch die Hypothese Galvani's hatte sich eine Zeitlang eines günstigen Erfolges zu erfreuen. Um sie aber fruchtbar zu machen, mußte man vage Betrachtungen zulassen und sich auf unbestimmte Thatsachen stützen; man mußte sich in die Fragen über die Functionen des Lebens und die Geheimnisse der Organisation verwickeln. Diese Fragen, welche die Menschen schon vielfach beschäftigt haben, aber wohl für immer unbeantwortet bleiben werden, kamen wieder sehr in Aufnahme, die besten Köpfe ließen sich hinreißen, und wer weiß, auf welchen Irrwegen man sich noch verloren hätte, wenn nicht bald ein Mann von kühnem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher schon damals durch mehrere wichtige Entdeckungen über Elektricität bekannt war. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum

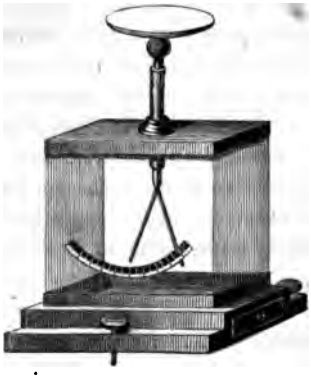
Gelingen des Verſuchs ſehr wichtiger Umſtand bis dahin ganz überſehen worden war. Um nämlich eine ſtarke Wirkung zu haben, iſt es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verſchiedenen Metallen beſteht, welche mit einander in Berührung ſind. Er ſtellte den Verſuch an, wie man Fig. 113 ſieht. Ein Theil, *z*, des Leitungsbogens iſt Zink, der andere Theil, *k*, iſt Kupfer. Beide Metalle müſſen an der Stelle, wo ſie ſich einander berühren, und auch da, wo ſie den Froſchſchenkel berühren, eine vollkommen metalliſche Oberfläche haben. Volta ſchloß aus ſeinen Verſuchen, daß der Froſchſchenkel nicht wie eine Leidner Flaſche zu betrachten ſey; daß die hier wirkende Flüſſigkeit weder in den Nerven, noch in den Muskeln, ſondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und daß ſie mit dem gewöhnlichen elektriſchen Fluidum vollkommen identiſch ſey. Volta's Anſichten wurden von Galvani und ſeinen Anhängern bekämpft, jede Partei ſuchte die Richtigkeit ihrer Theorie durch neue Verſuche zu bekräftigen, endlich aber wurde doch Volta's Meinung allgemein als die richtige angenommen.

Fig. 113.



55 **Directe Beweiſe für die Elektricitätsentwickelung durch Contact.** Die Idee, daß durch die bloße Berührung heterogener Körper Elektricität entwickelt werde, fand nur nach und nach Glauben; die Strenge der Wiſſenſchaft verlangte directe und entſcheidende Beweiſe, welche Volta auch bald gab. Dieſen directen Beweis führte er mit Hülfe eines Apparates, den er ſelbſt erſt einige Jahre früher erfunden hatte, nämlich mit Hülfe des Condenſators, den wir ſchon oben (Seite 109) kennen gelernt haben.

Fig. 114.



Der Verſuch wird auf folgende Weiſe angeſtellt. Nachdem man ſich überzeugt hat, daß der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 114, geſchraubte Condenſator ſeine Ladung gut hält und, nachdem man ihn wieder in ſeinen natürlichen Zuſtand verſetzt hat, ſetzt man die obere Platte durch Berührung mit dem Finger mit dem Boden in leitende Verbindung, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, daß man es in der

andern Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, daß die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnißt seyn dürfen, denn sonst wäre ja kein metallischer Contact zwischen Zink und dem Messing (welches sich fast ganz so wie reines Kupfer verhält) der einen Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur einen Augenblick gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen. Woher kommt diese Elektricität? Sie kann offenbar nur von dem Contact des Zinks und des Kupfers der unteren Condensatorplatte herrühren; hier ist es, wo eine besondere Kraft wirkt, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität geht auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen wird auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte getrieben und auf derselben gebunden, indem sie zersetzend auf die obere Platte wirkt. Wird nun die obere Platte abgehoben, so kann sich die in der unteren Platte gebundene $-E$ frei verbreiten und die Divergenz der Goldblättchen bewirken.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, daß man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung; alle anderen Metalle aber bewirken eine Divergenz der Goldblättchen. Blei, Zinn, Eisen, Wismuth und Antimon werden, in Berührung mit Kupfer (Messing), wie das Zink $+$ elektrisch, laden also die Condensatorplatte, welche man mit ihnen berührt, mit $-E$; hingegen Gold, Silber, Palladium, Platin und Kohle bringen die entgegengesetzte Wirkung hervor, sie werden — elektrisch und laden die kupferne oder messingene Condensatorplatte mit $+E$. Diese Versuche sind entscheidend, sie geben aber von der Kraft, welche hier die Elektricität erzeugt, noch keine vollkommene Vorstellung, denn man könnte ja glauben, daß sie nur im Augenblicke der Berührung wirkte, daß die Elektricität vielleicht von einer Reibung, von einem Drucke der Metalle herrühre. Um in dieser Hinsicht alle Zweifel zu lösen, hatte Volta die sinnreiche Idee, eine doppelte Platte,

Fig. 115.

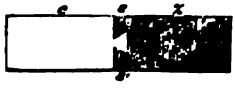


Fig. 115, zu machen; die eine Hälfte ist von Zink, die andere von Kupfer, und diese beiden Metalle sind bei $s\,s'$ zusammengelöthet. Nimmt man nun das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere

Condenſatorplatte berührt und die obere Condenſatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzt, ſo erhält man denſelben Ausſchlag der Goldblättchen wie beim vorigen Verſuche. An der Stelle, wo ſich Zink und Kupfer berühren, iſt alſo nach jahrelangem Contacte noch dieſelbe Kraft thätig, wie im erſten Augenblicke der Berührung.

56 **Von der elektromotoriſchen Kraft.** Dieſe an den Berührungsſtellen heterogener Körper wirkende Kraft führt den Namen elektromotoriſche Kraft; ſie hat ihren Sitz an den Berührungsſtellen und wirkt daſelbſt beſtändig zerſetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten, indem ſie die $+E$ auf den einen, die $-E$ auf den andern Körper treibt. Wenn alſo die doppelte Platte, Fig. 115, iſolirt iſt, kann ſie ſich nicht im natürlichen Zuſtande befinden.

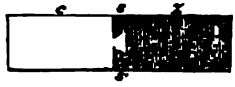
Wir wollen jetzt verſuchen, die Natur dieſer elektromotoriſchen Kraft ſo viel als möglich kennen zu lernen.

Betrachten wir die doppelte Platte vorerſt im Zuſtande der Iſolation. Durch die an der Berührungsfläche wirkende elektromotoriſche Kraft wird eine beſtimmte Quantität neutraler Elektricität zerlegt, es wird alſo gleichviel poſitive und negative Elektricität frei, die $-E$ geht auf das Kupfer, die $+E$ auf das Zink über. Da nun aber die elektromotoriſche Kraft fortwährend thätig iſt, ſo ſollte man glauben, daß bald ſo viel neutraler Elektricität zerſetzt ſeyn müßte, daß ſich die $+E$ auf dem Zinke ſowohl als auch die $-E$ auf dem Kupfer im Zuſtande ſtarker Spannung befände. Der Verſuch zeigt uns aber, daß dem nicht ſo ſey; die Spannung der freien Elektricität auf beiden Metallen iſt ſo gering, daß wir ja des Condenſators bedürfen, um ſie nur merklich zu machen.

Wie läßt ſich dieſe Thatſache nun mit der ungeſchwächten Fortdauer der elektromotoriſchen Kraft zuſammenreimen? Die elektromotoriſche Kraft, welche die Elektricitäten trennt, hindert auch, daß die $+E$ auf das Kupfer und die $-E$ auf das Zink zurückgeht, ſie hindert alſo die Wiedervereinigung der getrennten Elektricitäten; die an der Gränzfläche thätige elektromotoriſche Kraft wirkt alſo hier gerade ſo wie das Glas einer Leidner Flaſche oder wie die Harzſchicht eines Condenſators. Die auf der einen Platte eines geladenen Condenſators befindliche $+E$ zieht die $-E$ der andern Platte an, ihre Vereinigung wird einzig und allein durch die beide Platten trennende nichtleitende Harzſchicht verhindert. Wir haben aber geſehen, daß die Ladung, welche man einem Condenſator ertheilen kann, ihre Gränze hat, daß bei ſtärkeren Ladungen die iſolirende Harzſchicht durchbrochen wird und alſo eine Entladung erfolgt. Hier nun iſt es ganz ähnlich: die elektromotoriſche Kraft kann nur ſo lange die entgegengeſetzten Elektricitäten der beiden Metalle getrennt erhalten, bis ihre Spannung eine gewiſſe Gränze erreicht hat. Nehmen wir an, eine

Doppelplatte, Fig. 116, ſey iſolirt, die beiden Metalle ſeyen bis zu jener Gränze mit den ihnen zukommenden Elektricitäten geladen, und man theile dem Zink auf irgend eine Weiſe noch mehr $+E$, dem Kupfer ebenſoviel $-E$ mit, ſo werden dieſe neuen Ladungen nicht auf dem Kupfer und dem Zink getrennt bleiben, weil die an ihren Gränzflächen wirkende elektromotoriſche Kraft ihre Vereinigung nicht hindern kann. Es geht daraus hervor, daß die elektriſche Spannung auf dem Zink und dem Kupfer trotz der fortdauernd wirkenden elektromotoriſchen Kraft dieſe Gränze nicht überſchreiten kann; denn alle durch die elektromotoriſche Kraft von Neuem entwickelten Elektricitäten würden ſich ja ſogleich wieder vereinigen.

Fig. 116.

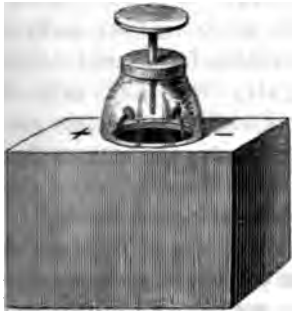


Nun iſt die Frage, wie ſich die Elektricität auf dem Kupfer und auf dem Zink vertheilt? Auch hierin finden wir eine vollkommene Analogie mit dem Condenſator. Die größte Menge der einen Condenſator oder eine Leidner Flaſche ladenden Elektricität iſt auf den einander zugekehrten, durch die iſolirende Schicht getrennten Metallflächen verdichtet, ein ungleich geringerer Theil verbreitet ſich frei über die ganze übrige Oberfläche der metalliſchen Belegung. Ebenſo iſt es hier; der größte Theil der durch den Contact entwickelten Elektricität bleibt an der Berührungsfläche beider Metalle gebunden, während ein weit geringerer Theil ſich frei über die Metalle verbreitet.

Volta ſtellte ſich die Sache ganz anders vor, er glaubte, die elektromotoriſche Kraft treibe die entwickelten Elektricitäten von der Berührungsfläche weg. Daß Volta's Anſicht hierin irrig ſey, und daß die Sache ſich ſo verhalte, wie ſo eben auseinandergeſetzt wurde, hat Fechner durch vielfache Verſuche dargethan, unter denen wir nur folgenden hervorheben.

Man ſchraube auf das verbeſſerte Bohnenberger'ſche Elektroſkop, Fig. 117, deſſen genaue Beſchreibung erſt ſpäter, bei Gelegenheit der trocknen Säulen, gegeben werden kann, ſtatt einer Condenſatorplatte eine Kupferplatte von ungefähr 8^{cm} Durchmeſſer auf und ſetze auf dieſe eine eben ſo große Zinkplatte. Es iſt weſentlich, daß die beiden Metallflächen vollkommen eben ſind, damit eine möglichſt vollſtändige Berührung ſtattfinden könne; man erreicht dies am beſten dadurch, daß man die beiden Metallplatten auf einander abſchleift. Durch die metalliſche Berührung der beiden Platten wird

Fig. 117.



Elektricität entwickelt, aber die auf dem Kupfer ſich frei verbreitende $-E$ iſt von ſo geringer Spannung, daß ſie keinen Ausſchlag des Goldblättchens bewirken kann; dieſer Ausſchlag erfolgt aber ſogleich, wenn man die Zinkplatte abhebt. Für das Gelingen des Verſuchs iſt es unerläßlich nöthig, daß die Zinkplatte vollkommen parallel mit der Kupferplatte abgehoben werde, ſo daß nicht einige Punkte der Zinkplatte länger mit dem Kupfer in Berührung bleiben als andere.

Dieſer Verſuch, welcher zugleich der einfachſte und ſicherſte Beweis für die Elektricitätserregung beim Metallcontacte iſt, ohne daß dabei ein Condenſator ins Spiel käme, beweiſ't, daß in der That der größte Theil der durch die elektromotoriſche Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsfläche gebunden bleibt, weil ſie erſt durch das Abheben der Zinkplatte frei wird.

Es iſt klar, daß mit der Größe der Berührungsfläche auch die Menge der an derſelben gebundenen Elektricität zunimmt. Berührt man die auf das Elektroſkop aufgeſchraubte Kupferplatte nur mit dem Rande der Zinkplatte, ſo wird man nach dem Wegnehmen der Zinkplatte auch keinen Ausſchlag erhalten, weil an den wenigen Berührungspunkten nicht viel Elektricität gebunden ſeyn konnte. Aus dieſem Umſtande ergiebt ſich auch, wie wichtig das parallele Abheben der Zinkplatte für das Gelingen des Verſuchs iſt.

Wenn man die Zinkplatte gehörig parallel abhebt, ſo erhält man einen Ausſchlag, welcher zeigt, daß das Kupfer, in Berührung mit Zink, — elektriſch geworden iſt. Dieſer Ausſchlag erfolgt mit gleicher Stärke, man mag die Zinkplatte iſolirt oder nicht iſolirt abheben.

Dies zeigt die Richtigkeit der Behauptung, daß der größte Theil der durch die elektromotoriſche Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsſtelle gebunden bleibt, ſo lange die Berührung dauert, und daß nur ein verhältnißmäßig ſehr unbedeutender Theil ſich frei über die beiden Metalle verbreitet. Die Quantität der gebundenen Elektricität iſt der Größe der Berührungsfläche proportional, dahingegen iſt die Spannung, welche der ſich frei verbreitende Antheil der Elektricität erreichen kann, von der Größe der Berührungsfläche unabhängig. Bei dem oben (Seite 122) beſchriebenen Volta'ſchen Fundamentalverſuche iſt es deshalb auch ganz gleichgültig, ob die untere Condenſatorplatte an vielen oder an wenigen Punkten mit dem Zinke in Berührung iſt.

Nach dieſen Betrachtungen ſind wir nun auch im Stande, den Hergang des ſo eben wieder erwähnten Volta'ſchen Fundamentalverſuchs deutlicher einzuſehen. Denken wir uns, man habe die obere Condenſatorplatte noch nicht aufgeſetzt, die untere aber mit dem Zink berührt, ſo wird ſich etwas $-E$ auf der Meſſingplatte verbreiten, deren Spannung

jedoch so gering ist, daß sie keine Divergenz der Goldblättchen bewirken kann. Bezeichnen wir die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich unter diesen Umständen auf der Messingplatte verbreitet, mit d. Nun werde die obere Condensatorplatte aufgesetzt und ableitend mit dem Finger berührt, so wird die freie E der unteren Condensatorplatte nach der Harzschicht strömen, an welcher sie gebunden wird; in dem Maaße aber, in welchem die freie Elektricität der unteren Messingplatte durch diese Condensation weggenommen wird, wird auch durch die fortwährend thätige elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle des Zinks dieser Verlust ersetzt, bis die auf der unteren Condensatorplatte frei verbreitete Elektricität wieder die Dichtigkeit d, und also die an die Harzschicht gebundene Elektricität die Dichtigkeit nd hat (Seite 100). Eine nur einen Augenblick dauernde Berührung der unteren Condensatorplatte mit dem Zink reicht schon hin, den Condensator vollständig zu laden.

Wenn eine isolirte Kupferplatte mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten Zinkplatte in Berührung gebracht wird, so ist die Quantität der auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ genau so groß, wie die Menge der auf das Kupfer übergehenden $-E$. Gerade deshalb aber kann die Elektricität auf dem einen Metalle die auf dem andern befindliche nicht vollständig binden, auf jedem Metalle muß also eine, wenn auch geringe Menge Elektricität frei seyn, gerade wie bei einer Franklin'schen Tafel auf jeder Seite etwas Elektricität frei ist, wenn auf der einen Belegung sich gerade so viel $-E$ befindet als $+E$ auf der andern. Damit die Elektricität auf der einen Belegung vollständig gebunden sey, muß sich auf der andern Seite ein Ueberschuß der entgegengesetzten Elektricität befinden. Bei den sich berührenden heterogenen Metallplatten findet ein ganz analoges Verhältniß Statt. Wenn man eine der isolirten Metallplatten, etwa die Zinkplatte, ableitend mit dem Finger berührt, während die Kupferplatte isolirt bleibt, so wird die freie $+E$ der Zinkplatte abgeleitet; durch diese Ableitung wird aber auf der Kupferplatte wieder eine Quantität $-E$ frei, die Spannung der freien $-E$ auf der Kupferplatte nimmt also zu, wenn die Zinkplatte ableitend berührt wird.

Hätte man bei Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs (S. 123) die untere Condensatorplatte mit einem isolirten Stücke Zink berührt, so würde begreiflicher Weise der Effect ungleich geringer ausgefallen seyn, als wenn das Zinkstück nicht isolirt gewesen wäre.

Bezeichnen wir mit $+e$ die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich auf einer isolirten Zinkplatte verbreitet, wenn man sie mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten, Kupferplatte berührt, so ist $-e$ die Dichtigkeit der entgegengesetzten Elektricität, welche sich über das Kupfer frei verbreitet. Wenn man eine Platte, etwa die Zinkplatte, ableitend berührt,

ſo kann man alle freie Elektricität ableiten, die Dichtigkeit der auf der berührten Platte zurückbleibenden freien Elektricität iſt alſo Null. Auf der Kupferplatte muß aber dadurch von Neuem gerade ſo viel negative Elektricität frei werden, als man poſitive Elektricität von dem Zink ableitete; die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kupferplatte wird alſo $-2e$. Man kann allgemein ſagen: Wenn eine der beiden ſich berührenden Metallplatten iſolirt iſt, die andere aber nicht, ſo iſt die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der iſolirten Platte doppelt ſo groß, als ſie ſeyn würde, wenn auch die andere Platte iſolirt geblieben wäre.

Mögen nun die beiden ſich berührenden heterogenen Platten iſolirt ſeyn oder nur eine derſelben, ſo bleibt doch die Differenz der elektriſchen Spannungen auf beiden dieſelbe. Wenn die eine Platte ableitend berührt iſt, ſo iſt die Spannung auf ihr 0, auf der andern $2e$, die Differenz dieſer beiden Spannungen iſt alſo auch $2e$. Wenn beide iſolirt ſind, ſo iſt die Tenſion auf der einen $+e$, auf der andern $-e$, und die Differenz dieſer beiden Tenſionen iſt abermals $2e$. Ja ſelbſt, wenn man von irgend einer andern Elektricitätsquelle her Elektricität auf das Plattenpaar leitet, bleibt dieſe Differenz unverändert dieſelbe, indem ſich die neu zugeführte Elektricität frei über das ganze Syſtem verbreitet. Geſetzt, man leite auf das Plattenpaar ſo viel poſitive Elektricität, daß ſie, frei über daſſelbe verbreitet, eine Dichtigkeit $10e$ habe, ſo wird ſich dieſe Elektricität mit der ſchon durch die elektromotoriſche Kraft auf beiden Platten erzeugten vereinigen. Die Dichtigkeit der freien poſitiven Elektricität, welche durch die elektromotoriſche Kraft auf der Zinkplatte verbreitet wird, iſt e, was mit jenen zugeleiteten $10e$ zuſammen $+11e$ macht. Auf der Kupferplatte iſt aber durch die Wirkung der elektromotoriſchen Kraft negative Elektricität von der Dichtigkeit $-e$ verbreitet; dieſe negative Elektricität neutraliſirt eine gleiche Quantität der zugeleiteten poſitiven Elektricität, von den zugeleiteten $+10e$ bleiben alſo $+9e$ übrig. Die Tenſion auf der Zinkplatte iſt alſo $+11e$, auf der Kupferplatte $+9e$, alſo die Differenz $+2e$. Daſſelbe Reſultat ſtellt ſich heraus, welches auch die Natur und die Quantität der dem Plattenpaare zugeleiteten Elektricität ſeyn mag. *Die elektriſche Differenz beider Platten bleibt unverändert.*

57 **Die Spannungsreihe.** Die elektriſchen Spannungen, welche durch die elektromotoriſche Kraft entwickelt und auf die ſich berührenden Körper verbreitet werden, ſind nicht für alle Stoffe gleich. Die Metalle ſind gute *Elektromotoren*, man beobachtet jedoch in dieſer Hinſicht einen großen Unterſchied unter denſelben. So wird z. B. Zink, in Berührung mit Platin, ſtärker poſitiv elektriſch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, poſitiv

elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, daß jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

\+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Platin
Kohle.
—

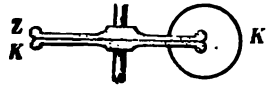
Wir wollen mit

$Z\ B$	die	elektrische	Differenz	zwischen	Zink	und	Blei
$Z\ K$	»	»	»	»	Zink	»	Kupfer
$Z\ P$	»	»	»	»	Zink	»	Platin
$B\ K$	»	»	»	»	Blei	»	Kupfer
$B\ P$	»	»	»	»	Blei	»	Platin
$K\ P$	»	»	»	»	Kupfer	»	Platin

bezeichnen.

Man schraube auf das Goldblattelektrometer, Fig. 114, eine Condensatorplatte von Kupfer, setze auf dieselbe eine Condensatorplatte von Zink und verbinde die beiden Platten durch einen Kupferdraht in der Weise, wie man Fig. 118 sieht. Durch die Berührung des Kupferdrahtes mit der (oben nicht lackirten) Zinkplatte wird Elektricität entwickelt, die auf dem Zink sich verbreitende freie $+E$ wird an der die beiden Platten trennenden Harzschicht condensirt, während die $-E$ durch den Kupferdraht auf die Kupferplatte übergeht und dort condensirt wird. Nach einer nur ganz kurzen Berührung wird sich der Condensator geladen haben; man nimmt nun den Kupferdraht weg und hebt die Zinkplatte ab, so werden die Goldblättchen divergiren, und zwar ist ihre Divergenz offenbar der elektrischen Differenz ZK zwischen Zink und Kupfer proportional.

Fig. 118.



Nun nehme man statt des verbindenden Kupferdrahtes einen Bleidraht. Wenn nur zwischen Zink und Blei eine elektromotorische Kraft thätig wäre, nicht aber zwischen Blei und Kupfer, so würde die Kupferplatte eine Ladung annehmen, welche der elektrischen Differenz ZB zwischen Zink und Blei

proportional iſt. Außer der $-E$ aber, welche von dem Blei auf die Kupferplatte übergeht, erhält dieſelbe aber auch noch eine fernere Ladung, welche von der zwiſchen Blei und Kupfer thätigen elektromotoriſchen Kraft abhängt, durch welche das Kupfer ebenfalls negativ erregt wird, die Ladung der Kupferplatte muß alſo der Summe $ZB + BK$ proportional ſeyn. Wenn man aber nun den Bleidraht entfernt und die obere Condenſatorplatte abhebt, iſt die Divergenz der Blättchen gerade eben ſo groß als beim erſten Verſuch, mithin iſt

$$ZB + BK = ZK,$$

d. h. die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer iſt gleich der Summe der elektriſchen Differenzen zwiſchen Zink und Blei, Blei und Kupfer.

Hätte man ſtatt des Bleidrahtes einen Platindraht angewendet, ſo würde die Kupferplatte eine negative Ladung ZP angenommen haben, wenn nur an der Berührungsſtelle zwiſchen Zink und Platin eine elektromotoriſche Kraft thätig wäre. Durch Platin wird das Kupfer poſitiv erregt, die Ladung der Kupferplatte kann offenbar nur $ZP - KP$ ſeyn. Aber auch hier erhält man wieder denſelben Ausſchlag, als ob der Verbindungsdraht von Kupfer geweſen wäre, mithin iſt

$$ZP - KP = ZK$$

und daraus

$$ZK + KP = ZP.$$

Die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Platin iſt die Summe der elektriſchen Differenzen zwiſchen Zink und Kupfer, Kupfer und Platin.

Von welchem Metall man auch den Verbindungsbogen der beiden Platten nehmen mag, man erhält ſtets dieſelbe Ladung des Condenſators, und daraus folgt, daß die elektriſche Differenz je zwei beliebiger Glieder in der Spannungsreihe gleich iſt der Summe der elektriſchen Differenzen der Zwiſchenglieder.

Aus unſeren Verſuchen folgt auch ferner, daß, *wenn man drei Metalle auf einander ſchichtet, die elektriſche Spannung der Endplatten ſtets dieſelbe iſt, als ob ſich dieſe Endplatten unmittelbar berührten und alle Zwiſchenplatten fehlten.* Wenn alſo bei dem letzten Verſuch die beiden Endplatten aus demſelben Metalle beſtehen, ſo wird ihre elektriſche Ladung Null ſeyn; wenn die beiden Condenſatorplatten aus demſelben Metalle gemacht ſind, ſo erhält man keine Divergenz, welches Metall man auch zum Verbindungsbogen anwenden mag.

Auch wenn man vier, fünf oder noch mehr verſchiedene Metalle in beliebiger Ordnung auf einander folgen läßt, iſt die Spannung der freien

Elektricität auf den Endgliedern ſtets dieſelbe, als ob ſie unmittelbar in Berührung mit einander wären.

Alle Metalle nehmen eine beſtimmte Stellung in der Spannungsreihe ein; die Kohle verhält ſich in dieſer Hinſicht ganz wie ein Metall, ſie iſt noch mehr elektronegativ als Platin. Auch viele zuſammengeſetzte Körper nehmen eine beſtimmte Stellung in der Spannungsreihe ein, z. B. Braunſtein, Eiſenoxyd, Schwefeleiſen, Schwefelblei u. ſ. w.; andere zuſammengeſetzte Körper aber, namentlich Flüſſigkeiten, gehorchen den Geſetzen der Spannungsreihe durchaus nicht.

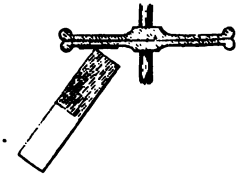
So wird z. B. Zink, in Berührung mit reinem Waſſer, negativ elektriſch. Wenn nun das Waſſer in die Spannungsreihe eingeſchaltet werden ſollte, ſo müßte man es nach ſeinem Verhalten gegen Zink noch über dieſes Metall ſetzen. Nähme das Waſſer wirklich dieſe Stelle in der Spannungsreihe ein, ſo müßte Platin, in Berührung mit Waſſer, bei weitem ſtärker negativ erregt werden als Zink. Die Erfahrung zeigt aber das Gegentheil, das Platin wird, in Berührung mit Waſſer, weit weniger negativ als Zink; man ſieht alſo, daß das Waſſer ein Körper iſt, welcher den Geſetzen der Spannungsreihe nicht gehorcht. Ein ähnliches Verhalten zeigt die verdünnte Schwefelſäure, ſie erregt Zink und Kupfer negativ, allein dieſe negative Erregung iſt beim Zink ſtärker als beim Kupfer; Platin und Gold werden durch verdünnte Schwefelſäure poſitiv erregt.

Dieſes eigenthümliche Verhalten der Flüſſigkeiten erklärt die folgende Erſcheinung. Man halte an die untere Condenſatorplatte, welche aus Kupfer beſtehen mag, das Zinkkupferelement, Fig. 119, jedoch nicht in der Weiſe, wie auf Seite 125 geſagt wurde, ſondern man nehme das Kupfer in die Hand und berühre mit dem Zink die Condenſatorplatte, während natürlich die obere Condenſatorplatte ableitend berührt wird; man wird keine Ladung des Condenſators erhalten. Der Grund iſt leicht einzuſehen. Die untere Condenſatorplatte iſt die oberſte Platte eines aus drei Stücken beſtehenden metalliſchen Syſtemes; zu unterſt iſt das Kupfer, welches man in der Hand hält, dann folgt Zink, darauf wieder Kupfer. Der Effect iſt derſelbe, als ob ſich die beiden Endglieder, alſo Kupfer und Kupfer, unmittelbar berührten, er iſt alſo gleich Null. Nun ſchiebe man zwiſchen das Zink und die untere Condenſatorplatte ein mit reinem Waſſer befeuchtetes Stückchen Papier ein, Fig. 120, ſo wird der Condenſator mit poſitiver Elektricität geladen werden. Wir haben hier ein Syſtem von vier Körpern, Kupfer, Zink, feuchtes Papier, Kupfer. Da die beiden Endglieder gleichartig ſind, ſo wäre eine Ladung des Condenſators durchaus *unmöglich*, wenn alle Zwiſchenglieder

Fig. 119.

ſolche Körper wären, welche eine Stellung in der Spannungsreihe einnehmen; die beobachtete Ladung des Condenſators beweiſ't alſo ſchon, daß das feuchte Papier nicht in die Spannungsröhre paßt. Der Hergang iſt hier folgender. Das untere Kupferſtück iſt mit dem Boden in leitender Verbindung, es befindet ſich deshalb im natürlichen Zuſtande, während das darangelöthete Zink eine poſitive Ladung erhält. Die poſitive Ladung des Zinks geht auf die feuchte Scheibe über, wird aber noch durch die poſitive Erregung des Waſſers durch Zink vermehrt. Die verſtärkte poſitive Ladung der feuchten Scheibe geht aber faſt vollſtändig auch auf die untere Condenſatorplatte über, weil ja das Kupfer durch Waſſer nur ſehr ſchwach negativ erregt wird.

Fig. 120.



Die elektriſche Erregung zwiſchen Metallen und Flüſſigkeiten iſt bisher häufig überſehen worden. Eine ſehr gründliche Unterſuchung dieſes für die Theorie der Volta'ſchen Säule ſo wichtigen Punktes hat Buff vor Kurzem publicirt (Liebig's Ann. der Chemie, Bd. 42, Seite 5).

Das Verfahren, welches er anwandte, um das elektriſche Verhalten irgend eines Metalls gegen die zu unterſuchende Flüſſigkeit frei von allen anderen Einflüſſen zu erhalten, war folgendes.

Auf einem ſehr empfindlichen Fechner'ſchen Säulenelektroſkop, Fig. 117, wurde eine Scheibe von dem zu prüfenden Metalle als untere Condenſatorplatte befeſtigt. Auf die gefirnißte Oberfläche derſelben wurde dann eine möglichſt dünne, geſchliffene Spiegelglasplatte gelegt, deren aufliegende (untere) Fläche gleichfalls gefirnißt war. Auf der Oberfläche des Glaſes endlich wurde die zu prüfende Flüſſigkeit ausgebreitet; gewöhnlich, und zwar ganz unbeſchadet der Wirkung, dadurch, daß man ein mit der Flüſſigkeit getränktes Löſchpapier oben auflegte. Die feuchte Schicht auf der Glasſcheibe bildete auf dieſe Weiſe die obere Condenſatorplatte. Buff verband nun die Flüſſigkeit mit der unteren Condenſatorplatte durch einen geeigneten Metallſtreifen und entfernte dann die Glasſcheibe.

Die Glasſcheibe war $\frac{1}{4}$ Linie dick und hatte einen etwas größeren Durchmeſſer als die Condenſatorplatte, um ſie leicht abheben zu können. Die auf dieſe Weiſe erhaltenen Ladungen ſind zwar in der Regel ſchwach, da wegen der Dicke der Glasſcheibe der Condenſator weniger wirkſam iſt, ſie gaben jedoch in qualitativer Hinſicht vollkommen entſcheidende Reſultate.

Iſt die Condenſatorplatte von Zink, die Flüſſigkeit reines Waſſer, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, ſo wird der Condenſator negativ geladen.

Wenn die untere Condensatorplatte und der Verbindungsdraht Platin sind und auf der Glasplatte ebenfalls reines Wasser ausgebreitet ist, so erhält das Platin ebenfalls eine negative Ladung, aber schwächer als die des Zinks durch Wasser.

Um die Wirkung von Wasser auf Platin mit der von Zink auf Platin zu vergleichen, wurde auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte aufgesetzt und die Verbindung des Zinks mit dem Platin durch einen Platinstreifen bewerkstelligt. Der Ausschlag war weit stärker. Platin wird also durch Zink weit stärker negativ erregt als durch Wasser.

Vergleicht man aber den Ausschlag, den unter diesen Umständen Zink und Platin giebt, mit dem, welchen Zink und Wasser geben, so findet man, daß der letztere bedeutender ist. Hieraus folgt, daß die absolute Größe der negativen Erregung des Zinks durch Wasser bedeutender ist als die Größe seiner positiven Erregung durch Platin.

Zink, mit reinem Wasser durch einen Platin- oder Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, die positive Erregung des Zinks durch diese Metalle ist also größer, als die negative Erregung derselben durch Wasser.

Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink, Eisen, Kupfer in abnehmenden Graden negativ, Gold und Platin aber positiv. Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure.

Von concentrirter Salpetersäure wurden Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv erregt, nur das Zink, obgleich heftig angegriffen, zeigte eine kaum merklich negative Ladung.

Zweites Kapitel.

Von der Volta'schen Säule.

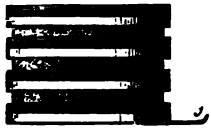
Construction der Volta'schen Säule. Zum Aufbau der Volta'- 58
schen Säulen werden drei verschiedene Körper angewendet; zwei Metalle und ein dritter Körper, welcher keine Stelle in der Spannungsreihe einnimmt.

Die Metalle, welche man in der Regel anwendet, sind Kupfer und Zink, zwei Körper, welche in der Spannungsreihe sehr weit von einander abstehen. Zink bildet das positive, Kupfer das negative Element. Gewöhnlich ist eine Kupferplatte und eine Zinkplatte zusammengelöthet.

Das dritte Element der Volta'schen Säule ist eine feuchte Scheibe, d. h. eine Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit reinem Wasser oder mit einer sehr verdünnten Säure oder einer Kochsalzlösung getränkt ist.

Eine Kupferplatte, alſo ein negatives Element, ſey durch einen Kupferdraht *f*, Fig. 121, mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht und auf ihre obere Fläche eine gleich große Zinkplatte gelegt. Durch die elektromotoriſche Kraft wird das Zink poſitiv, das Kupfer negativ erregt, die freie Elektricität der Kupferplatte ſtrömt aber in den Boden über, während auf der Zinkplatte freie Elektricität von einer Dichtigkeit bleibt, welche von der elektriſchen Differenz zwiſchen Kupfer und Zink abhängt. Nehmen wir dieſe Dichtigkeit als Einheit an, ſo können wir ſagen, daß unter dieſen Umſtänden die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Kupfer 0 ſey, während ſich über das Zink freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wenn man durch irgend ein Mittel dem Zink einen Theil ſeiner freien E entzöge, ſo daß ihre Dichtigkeit geringer als 1 würde, ſo würde dieſer Verluſt, welchen die Zinkplatte an $+E$ erleidet, durch die elektromotoriſche Kraft ſogleich wieder erſetzt werden, während eine der neu entwickelten und auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ vollkommen gleiche Menge $-E$ auf die Kupferplatte und von dieſer auf den Boden übergeht.

Fig. 121.



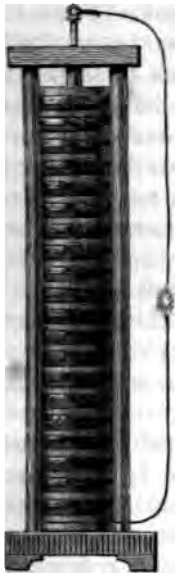
Man lege nun eine feuchte Scheibe auf das Zink. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, ſie äußere, in Berührung mit Zink, gar keine elektromotoriſche Kraft und verhalte ſich nur als Leiter, ſo geht ein Theil der freien $+E$ vom Zink auf die feuchte Scheibe über, der Verluſt wird aber alsbald wieder erſetzt, ſo daß die Dichtigkeit der freien $+E$ auf dem Zink 1 bleibt, und auch auf der feuchten Scheibe ſich freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wird nun auf die feuchte Scheibe wieder eine Kupferplatte gelegt, ſo wird ſich auch auf dieſer die $+E$ verbreiten, und zwar wird ſie auch hier ſogleich die Dichtigkeit 1 erreichen. Auf der unterſten Kupferplatte hat man alſo nun die Dichtigkeit Null auf der Zinkplatte, der feuchten Scheibe und der oberen Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1.

Legt man auch auf die obere Kupferplatte eine Zinkplatte, ſo würde auch dieſe mit freier $+E$ von der Dichtigkeit 1 geladen werden, ſelbſt wenn keine elektromotoriſche Kraft hier thätig wäre; nun aber bleibt die elektriſche Differenz zwiſchen Kupfer und Zink ſtets dieſelbe, ſie iſt nach unſerer bisherigen Bezeichnung ſtets gleich 1, wenn alſo ſchon die obere Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1 hat, ſo muß die $+E$ der darauf gelegten Zinkplatte die Dichtigkeit 2 haben.

Auf dieſelbe Art kann man weiter ſchließen. Legt man auf das zweite Zinkkupferpaar abermals eine feuchte Scheibe und darauf wieder eine Kupfer- und eine Zinkplatte in derſelben Ordnung, ſo daß das Kupfer unten,

das Zink oben hin kommt, ſo wird auf dieſer dritten Zinkplatte die Dichtigkeit der freien $+E = 3$ ſeyn. Baut man in derſelben Ordnung fort, d. h. läßt man von unten nach oben fortbauend die Elemente ſtets in der Ordnung: Kupfer, Zink, feuchte Scheibe folgen, ſo wird auf der 4ten, 5ten ... 100ſten Zinkſcheibe ſich freie $+E$ von der Dichtigkeit 4, 5 ... 100 finden.

Fig. 122.



Das eben beſchriebene Arrangement führt nach ſeinem Erfinder den Namen der Volta'ſchen Säule. Fig. 122 ſtellt eine Volta'ſche Säule von 20 Plattenpaaren dar. Das Fußgeſtell iſt von trockenem Holze, die Stäbe auf der Seite, welche die Säule halten, ſind von Glas.

Das eine Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endigt, heißt das Zinkende oder der poſitive Pol, das andere Ende hingegen das Kupferende oder der negative Pol. In dem eben beſchriebenen Arrangement war der negative Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, der poſitive Pol war iſolirt, und auf der ganzen Säule war $+E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach unſerer Betrachtung von unten nach oben zunehmen muß. Wenn der negative Pol iſolirt, und der poſitive Pol mit dem Boden in leitende Verbindung geſetzt wird, ſo iſt die Dichtigkeit der freien Elektricität an dem Zinkende Null, während ſich über die ganze Säule freie $-E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach dem Kupferende hin zunimmt.

Fig. 123.

Daß in einer Säule, deren einer Pol iſolirt iſt, während das andere Ende ableitend berührt wird, wirklich die erwähnte Vertheilung der Elektricität ſtattfindet, davon kann man ſich leicht mit Hülfe des Elektrometers, Fig. 123, überzeugen. Wir haben geſehen (S. 125), daß, wenn man die untere Condenſatorplatte des Elektrometers mit dem Kupfer eines zuſammengelötheten Zinkkupferpaares berührt, während das Zink mit dem Boden in leitender Verbindung iſt, dem Condenſator eine Ladung ertheilt werden kann, welche der elektriſchen Differenz zwiſchen

Zink und Kupfer proportional iſt, alſo von der Dichtigkeit 1 der freien Elektricität abhängt, welche ſich über das Kupfer verbreitet, wenn es mit Zink in Berührung iſt, welches ſelbſt wieder mit dem Boden in leitender Verbindung ſteht. Legt man aber auf die Hand eine Zinkſcheibe, auf welche eine gleich große Kupferſcheibe aufgelöthet iſt, auf die Kupferplatte eine feuchte Scheibe und auf dieſe wieder ein Zinkkupferpaar, und zwar Zink unten, Kupfer oben hin, ſo muß nach unſeren Betrachtungen auf der oberen Kupferplatte freie $-E$ von der Dichtigkeit 2 ſich befinden, vorausgeſetzt, daß die Flüſſigkeit weder auf Kupfer noch auf Zink eine elektromotoriſche Kraft ausübt. Berührt man alſo die untere Condenſatorplatte des Elektrometers mit der oberen Kupferplatte, die obere Condenſatorplatte aber ableitend mit dem Finger, ſo erhält nun der Condenſator eine doppelt ſo ſtarke Ladung als vorher, da man nur ein Plattenpaar angewendet hatte, und in der That erhält man jetzt einen weit ſtärkeren Ausſchlag. Ja, der Ausſchlag iſt mehr als doppelt ſo groß, weil ſich, wie wir in Nro. 57 geſehen haben, die elektromotoriſche Wirkung der feuchten Scheibe mit der der Metalle ſummirt und alſo zur Verſtärkung der Ladung an den Polen der Volta'ſchen Säule bedeutend mitwirkt. Macht man den Verſuch mit einer Säule von drei Zinkkupferpaaren, ſo wird der Ausſchlag abermals bedeutender. Wenn das Goldblattelektrometer empfindlich und der Condenſator in gutem Stande iſt, ſo iſt der Ausſchlag der Blättchen bei Anwendung von zwei und drei Plattenpaaren ſchon ſo bedeutend, daß man bei vier Plattenpaaren ein Zerreißen der Goldblättchen zu befürchten hat. Will man aber zeigen, wie auch weiter noch mit wachſender Plattenzahl die elektriſche Spannung an dem einen Pol zunimmt, ſo hat man nur ein weniger empfindliches Elektroſkop, etwa das Fig. 58, anzuwenden. Man wiederhole den Verſuch ganz auf die ſo eben beſchriebene Weiſe mit Anwendung von 5, 10, 15, 20 u. ſ. w. Plattenpaaren, ſo wird man beobachten, wie der Ausſchlag mit wachſender Plattenzahl immer mehr zunimmt.

In der eben beſchriebenen Verſuchsweiſe war der poſitive Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, und die negative Elektricität des Kupferpols wurde auf der unteren Condenſatorplatte verdichtet, das Elektrometer wurde alſo mit $-E$ geladen. Es iſt nun leicht, die Anordnung ſo umzukehren, daß die $+E$ condenſirt wird. Zu dieſem Zwecke baue man nur die Säule in umgekehrter Ordnung auf; man lege das unterſte Plattenpaar ſo auf die Hand, daß das Zink nach oben gekehrt iſt, und baue in dieſer Ordnung weiter. Damit der Contact der oberſten Zinkplatte mit der Condenſatorplatte den Effect nicht modificire, muß in dieſem Falle die untere Condenſatorplatte entweder ſelbſt von Zink ſeyn, oder, wenn ſie von Meſſing iſt, muß man auf die oberſte Zinkplatte noch

eine feuchte Scheibe legen und mit dieſer die untere Condenſatorplatte berühren.

Die iſolirte Säule. Nehmen wir an, man habe eine Säule von 100 59
Paaren aufgebaut und den negativen Pol mit dem Boden in leitende Verbindung geſetzt, daneben eine zweite, der erſten ganz gleiche, deren poſitiver Pol ableitend berührt iſt. Nun ſetze man die beiden Säulen zu einer einzigen zuſammen, ſo aber, daß mit Einſchaltung einer feuchten Scheibe die beiden ableitend berührten Pole (alſo der + Pol der einen und der — Pol der andern) an einander ſtoßen, ſo hat man eine einzige Säule von 200 Paaren, deren Hälften ſich noch ganz in dem Zuſtande befinden wie vorher: die Mitte befindet ſich alſo im natürlichen Zuſtande, ſelbſt wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden aufgehoben hat. Die eine Hälfte iſt poſitiv, die andere negativ geladen, und zwar wächſt die Stärke der Ladung von der Mitte nach den Polen hin. Die elektriſche Spannung an jedem Pole iſt gerade ſo groß, wie am iſolirten Pol einer Säule von 100 Paaren, deren anderer Pol ableitend berührt iſt. Stört man dieſes Gleichgewicht, indem man von dem einen Pol etwas Elektricität wegnimmt, ſo wird hier die Spannung vermindert, am andern Pol vermehrt, und der Punkt der Säule, welcher ſich im natürlichen Zuſtande befindet, wird von der Mitte mehr nach dem Pol hingerückt, welchem man Elektricität entzogen hatte. Wenn aber die ganze Säule iſolirt bleibt, ſo ſtellt ſich nach und nach der frühere Zuſtand wieder her, d. h. der Gleichgewichtspunkt rückt allmälig wieder in die Mitte, weil an dem ſtärker geladenen Pol fortwährend auch ein größerer elektriſcher Verluſt ſtattfindet. In jeder ganz iſolirten Säule ſtellt ſich alſo von ſelbſt das elektriſche Gleichgewicht in der Weiſe her, daß die Mitte im natürlichen Zuſtande iſt und die beiden Hälften mit den entgegengeſetzten Elektricitäten geladen ſind, deren Dichtigkeit nach den Polen hin von einem Plattenpaar zum andern wächſt.

Die trockene Säule. Bei den trockenen Säulen ſind die Elektromotoren 60
ebenfalls metalliſche Subſtanzen, aber der Leiter, welcher je zwei Paare trennt, iſt keine Flüſſigkeit, ſondern irgend ein feſter Körper, welcher entweder vollkommen trocken oder nur etwas feucht iſt. Unter den verſchiedenen Vorrichtungen dieſer Art, welche nach einander vorgeſchlagen wurden, ſcheint die von Zamboni die wirkſamſte zu ſeyn. Auf ein gewöhnliches Blatt Papier, welches gerade ſo feucht iſt, als es bei feuchter Witterung von ſelbſt wird, klebt man mit Gummi oder Stärke auf die eine Seite unächten Silberſchaum (Zink), während auf der andern Seite feingepulverter Braunſtein (Manganhyperoxyd) mittelſt eines Korkſtopfens eingerieben wird; mehrere ſo zubereitete Papierblätter werden nun auf einander gelegt und mit einem runden Schlageiſen von 10 bis 15 Linien Durchmeſſer runde Scheibchen ausgeſchlagen. Durch Aufeinanderſchichten ſolcher Scheibchen werden nun

Säulen von 1000 bis 2000 Paaren aufgebaut, dabei muß man aber wohl darauf Rückſicht nehmen, daß die Scheibchen alle in derſelben Ordnung aufgebaut werden, daß alſo die Zinkſeite entweder immer nach unten oder immer nach oben gekehrt iſt. Um die vollſtändige Berührung der Plattenpaare zu ſichern, wird die Säule zuſammengepreßt, nachdem man an beiden Enden hinreichend ſtarke Metallplatten mit 3 bis 4 vorſpringenden Anſätzen anbringt, die nun durch ſeidene Schnüre verbunden werden. Um die ganze Säule vor dem Einfluſſe der Luft zu ſchützen, wird ſie mit geſchmolzenem Schwefel oder mit Schellack überzogen.

Man kann auch die trockenen Säulen aus unächtem Gold- und Silberpapier conſtruiren. Zu dieſem Zwecke klebt man immer einen Bogen unächtes Silberpapier (Zinn) und einen Bogen unächtes Goldpapier (Kupfer) mit der Papierſeite zuſammen, ſo daß man alſo ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der andern mit Zinn überzogen iſt. Aus den ſo zuſammengeklebten Bogen werden dann die Scheibchen ausgeſchnitten.

61 **Eigenſchaften der trockenen Säule.** Eine Zamboni'ſche Säule von 2000 Paaren iſt noch nicht im Stande, den mindeſten Schlag zu geben oder die mindeſte chemiſche Zerſetzung hervorzubringen, allein ihre Pole zeigen eine ſehr merkliche Spannung. Schon eine Säule von 100 bis 200 Paaren bringt an einem Goldblattelektrometer ohne Condenſator eine Divergenz hervor; man braucht zu dieſem Zwecke nur den einen Pol in der Hand zu halten und mit dem andern die Platte oder die Kugel des Elektrometers zu berühren. Mit Säulen von 800 bis 1000 Paaren erhält man ſchon eine ſehr bedeutende Divergenz. Berührt man mit dem einen Pol ſolcher Säule die eine Belegung einer Franklin'ſchen Tafel, während der andere Pol ableitend berührt iſt, ſo gelingt es manchmal, der Tafel eine ſo ſtarke Ladung zu ertheilen, daß bei ihrer Entladung ein Funken erſcheint.

Eine Volta'ſche Säule von 2000 Paaren würde, wie wir bald ſehen werden, mit einem geſäuerten Waſſer geſchichtet, nicht allein dieſe Spannungserſcheinungen, ſondern auch bedeutende Stromeffecte, einen bedeutenden Schlag und eine ſehr lebhafte chemiſche Zerſetzung hervorgebracht haben. Daß dieſe Erſcheinungen bei der Zamboni'ſchen Säule fehlen, hat beſonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers ſeinen Grund. Die elektriſchen Flüſſigkeiten können nur langſam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieſer Langſamkeit tritt ein Gleichgewichtszuſtand ein, den wir ſogleich näher unterſuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule iſolirt ſind, ſo häufen ſich die entgegengeſetzten Elektricitäten bald in gleichem Maaße an den Polen an; die Spannung wächſt hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge iſt, welche

in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen größeren Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pole zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, daß in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer seyn muß als in trockener Luft.

Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische perpetuum mobile zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der andern der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns nun in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von beiden Polen gleich stark angezogen, es bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit $+E$ geladen, vom $+$ Pole abgestoßen und vom $-$ Pole angezogen; am letzteren Pole angekommen, giebt es an diesen seine positive Ladung ab, nimmt dagegen $-E$ auf und wird nun wieder nach dem $+$ Pol getrieben u. s. w. Man sollte glauben, daß, wenn Alles gut hergerichtet ist, die Bewegung in der That immer fortdauern müßte; es ist dies jedoch nicht der Fall. Bald werden die Oscillationen schneller, dann wieder langsamer, endlich hören sie eine Zeitlang ganz auf. Diese Unregelmäßigkeiten lassen sich aber ganz gut erklären. Es wirken hier zwei Ursachen, um den Polen der Säule Elektricität zu entziehen, nämlich die Luft und das Pendel, während die Elektricität nur aus einer constanten Quelle wieder ersetzt wird. Wenn für einen bestimmten Zustand der Luft das Pendel so eingerichtet ist, daß in einer gegebenen Zeit die Menge der Elektricität, welche an den Polen durch die Luft und das Pendel weggenommen wird, in derselben Zeit auch wieder ersetzt werden kann, so sind die Schwingungen regelmäßig und dauern so fort, bis sich die Umstände ändern. Wird nun die Luft trocken, so werden die Oscillationen schneller; wird die Luft feuchter, so nimmt die Geschwindigkeit der Oscillationen ab, und wenn es sehr feucht wird, kommt das Pendel wohl auch ganz in Ruhe, nach einiger Zeit aber können die Schwingungen von Neuem beginnen. Um das Pendel in jedem beliebigen Augenblicke stille stehen zu machen, braucht man nur über die Pole hinzublasen oder sie mit der Hand oder mit

einem andern guten Leiter zu berühren, denn dadurch wird die elektriſche Ladung der Pole weggenommen, und es iſt eine geraume Zeit nöthig, bis die elektriſchen Fluida ſich wieder hinreichend an den Polen angehäuft haben, um wieder die Bewegung des Pendels zu unterhalten.

62 **Bohnenberger's Elektroſkop.** Zu den wichtigſten und ſinnreichſten Anwendungen, die man von der trockenen Säule gemacht hat, gehört unſtreitig das Bohnenberger'ſche Elektroſkop. Nachdem Bohnenberger an dem Goldblattelektrometer das eine Goldblättchen weggenommen hatte, brachte er auf jeder Seite des noch übrig gebliebenen, und zwar in gleicher Entfernung von demſelben, eine ſtarke trockene Säule an. Das Goldblättchen hängt alſo in der Mitte zwiſchen den Enden der beiden Säulen, und zwar befindet ſich auf der einen Seite ein poſitiver, auf der andern ein negativer Pol, und ſo muß ſich das Blättchen nach dem einen oder dem andern Pole hin bewegen, wenn ihm nur die geringſte poſitive oder negative Ladung mitgetheilt wird.

Statt zweier vertikalen Säulen wandte Becquerel zuerſt eine horizontale mit vertikalen Polplatten an, zwiſchen denen ihrer ganzen Länge nach das Goldblättchen herabreicht. Fechner hat dieſen Apparat noch ſehr verbeſſert und ihm die Fig. 124 und Fig. 125 dargeſtellte Einrichtung gege-

Fig. 124.

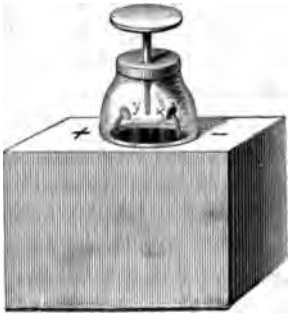
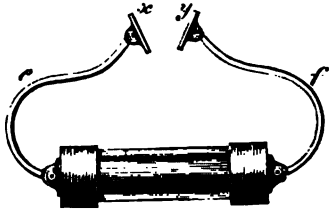


Fig. 125.



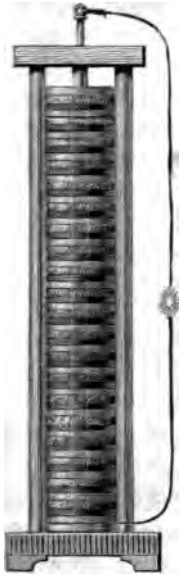
ben, durch welche er das empfindlichſte aller bis jetzt bekannten Elektroſkope und ein für die leichte und ſichere Anſtellung der Volta'ſchen Fundamentalverſuche wahrhaft unentbehrliches Inſtrument wurde.

In dem Kaſten, Fig. 124, befindet ſich in horizontaler Lage eine Zamboni'ſche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergroßen Plattenpaaren. Die Säule iſt mit gefirnißten Seidenfäden zuſammengeſchnürt und wird in einer Glasröhre luftdicht eingeſchloſſen, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verſchloſſen iſt. Dieſe Kappen ſtehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte *e*

und *f* aus, die mit den Polplatten *x* und *y* endigen. Zwischen diesen Polplatten hängt, wie man in Fig. 123 sieht, das Goldblättchen an einem isolirten Metallstäbchen. Auf der einen Seite ist auf der oberen Fläche des Kastens, aus dem die Polplatten hervorragen, das Zeichen +, auf der andern das Zeichen — angebracht, so daß man sogleich durch die Richtung des Ausschlags von der Natur der dem Goldblättchen mitgetheilten Elektricität unterrichtet ist.

Die geschlossene Säule. Da die beiden Pole einer isolirten Säule 63
immer Quellen entgegengesetzter Elektricität sind, so ist klar, daß, wenn man jeden mit einem Drahte versieht, der Draht sich mit der Elektricität seines Pols laden wird. Man hat also auf diese Weise einen positiv und einen negativ geladenen Conductor; wenn beide Conductoren mit einander in Berührung gebracht werden, muß also eine beständige Wiedervereinigung der in der Säule fortwährend entwickelten Elektricitäten stattfinden. Dies soll nun durch Fig. 126 versinnlicht werden. Wenn die beiden Drähte (die man selbst manchmal die beiden Pole nennt) einander bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert werden, so sieht man einen ununterbrochenen Funkenstrom von einem Drahte zum andern übergehen.

Fig. 126.



Wenn man die beiden Leitungsdrähte in unmittelbare Berührung bringt, d. h. wenn man die Kette schließt, so hört der Uebergang der Funken auf, damit sind aber nicht alle elektrischen Wirkungen zerstört. In der Säule wird fortwährend Elektricität entwickelt, und in allen Punkten des Schließungsdrahtes findet fortwährend die Wiedervereinigung der in der Säule getrennten Elektricitäten Statt. Außen scheint also Alles ruhig, im Innern aber herrscht fortwährende Thätigkeit und Bewegung. Wir werden alsbald die Wirkungen dieses ununterbrochenen elektrischen Stromes kennen lernen.

Verschiedene Formen der galvanischen 64
Kette. Mit dem Namen der galvanischen Ketten bezeichnet man alle Apparate, welche zur Hervorbringung eines continuirlichen elektrischen Stromes dienen. In der Regel sind sie aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit construirt. Die bisher besprochene Volta'sche Säule war der erste Apparat der Art; allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, wäh-

rend die Flüſſigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwiſchen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffekt ſchwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, iſt Fig. 127 und Fig. 128 dargeſtellt. Die einzelnen Elemente beſtehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet ſind. Dieſe Plattenpaare ſind nun einander parallel in einem Kaſten von Holz, *b b'*, deſſen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzſchicht überzogen ſind, ſo befeſtigt, daß der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit geſäuertem Waſſer gefüllt wird. Dieſe Waſſerſchicht, welche ungefähr 3 Linien dick iſt, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Fig. 127.

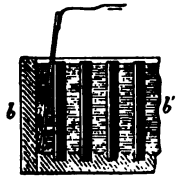
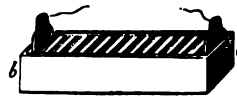
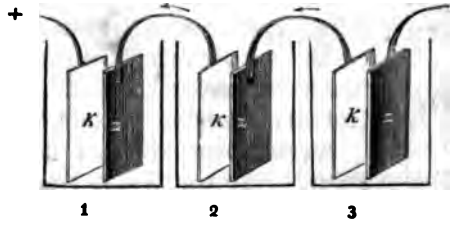


Fig. 128.



Bei anderen galvaniſchen Apparaten befindet ſich die Flüſſigkeit in getrennten Gefäßen oder Gläſern, die kreisförmig oder in gerader Linie zuſammengeſtellt ſind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die ſich aber nicht berühren, jede Zinkplatte iſt durch einen Kupferdraht oder Kupferſtreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glaſes verbunden, wie dies durch das Schema, Fig. 129, angedeutet iſt, wo die Kupferplatten mit *k*, die Zinkplatten mit *z* bezeichnet ſind. Die Zink-

Fig. 129.



platte im Glaſe 1 iſt mit der Kupferplatte des Glaſes 2 durch einen Draht verbunden, die Zinkplatte in 1 wird alſo poſitiv, der poſitive Strom geht von dieſer Zinkplatte durch die Flüſſigkeit zur gegenüberſtehenden Kupferplatte, der poſitive Strom circulirt alſo in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung.

Man hat die Form dieſer Apparate durch Veränderung der Plattenform auf das mannichfaltigſte abgeändert; ſo iſt z. B. in der Wollaſ-

ston'schen Kette, von welcher in Fig. 130 zwei Elemente abgebildet sind, die Kupferplatte so um die Zinkplatte herumgebogen, daß jeder Seite der

Fig. 130.

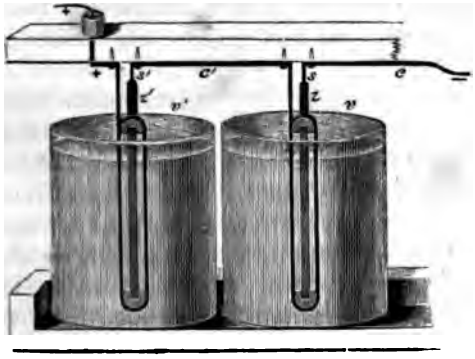
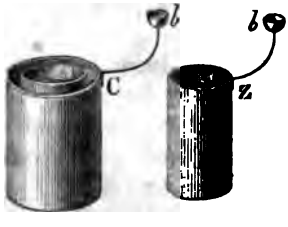


Fig. 131.

Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht. In anderen Apparaten ist die Kupferplatte eines jeden Gefäßes in die Form eines hohlen Cylinders gebogen, wie Fig. 131, während die Zinkplatte einen ähnlichen kleineren oder größeren Cylinder bildet, welcher ganz vom Kupfercylinder umschlossen ist oder ihn einschließt, jedoch so, daß der hohle Zinkcylinder den Kupfercylinder nicht berührt, daß sie durch die Flüssigkeit getrennt sind, während von dem Kupfercylinder ein Draht zu dem Zink des vorhergehenden, vom Zinkcylinder aber ein Draht zum Kupfer des folgenden Bechers geht. Dies ist die Grundform fast aller neueren galvanischen Batterien.

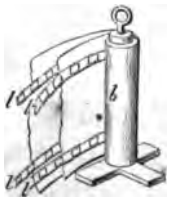
Fig. 132.



Der Kupfercylinder *k* kann selbst das Gefäß bilden, wenn er unten geschlossen ist; dies ist z. B. bei den Oersted'schen Apparaten, Fig. 132, der Fall. *C* ist ein Gefäß, welches durch zwei Cylinder von Kupferblech gebildet ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen der eine in dem andern steckt und die am Boden mit einander verbunden sind, so daß ein Raum zwischen beiden bleibt, der den Zinkcylinder *Z* und das gesäuerte Wasser aufnimmt. An dem Zinkcylinder ist ein Kupferdraht angelöthet, der mit einem Näpfchen endigt, in welches Quecksilber gegossen wird. Ein ähnliches Quecksilbernäpfchen ist an dem Kupfergefäße angelöthet. Wenn man den Zinkcylinder in das Kupfergefäß hineinstellt, so muß man dafür sorgen, daß das Zink mit dem Kupfer nicht in leitende

Berührung kommt. Man hindert dieſe Berührung am beſten durch einige Stückchen Kork. Wenn man die Kette ſchließen will, ſo verbindet man die Queckſilbernäpfchen durch einen Metalldraht. Dieſer Apparat hat den großen Vorzug, daß man das Zink ſehr bequem reinigen kann.

Fig. 133.

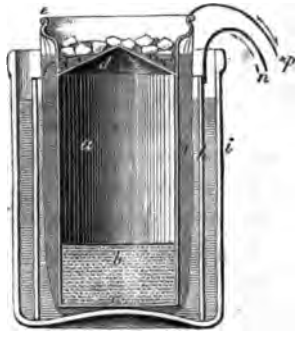


Wenn es auf eine ſehr große Oberfläche der Metallplatten ankommt, wendet man Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 133 und Fig. 134 dargeſtellt iſt. Auf einem Holzcylinder *b*, welcher etwa 3 Zoll im Durchmeſſer hat und 1 bis 1,5 Fuß hoch iſt, ſind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer gleichſam aufgewickelt, welche durch Tuchſtreifen *l* von einander getrennt ſind. Man erhält auf dieſe Weiſe ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuß Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieſer Apparat ganz beſonders geeignet iſt, Metalldrähte glühend zu machen und zu ſchmelzen.

Fig. 134.

Bei allen den bis jetzt beſprochenen einfachen und zuſammengeſetzten Ketten iſt die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die ſaure Flüſſigkeit ſehr energiſch, ſie nimmt aber ſehr raſch ab. Dieſe Veränderlichkeit des Stroms iſt nun für immer, namentlich aber dann ſtörend, wenn es ſich darum handelt, vergleichende Verſuche über die Stromkraft anzuſtellen. Von dieſem Uebelſtande ſind nun die ſogenannten conſtanten Batterien frei, die erſt in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen ſind. Hier wird vor der Hand nur eine Beſchreibung der wichtigſten conſtanten Ketten folgen, die Theorie derſelben aber, ſowie die Auseinanderſetzung der Gründe, warum in gewöhnlichen Ketten die Stromkraft ſo raſch abnimmt, muß einem ſpäteren Kapitel vorbehalten bleiben.

Fig. 135.



Als Erfinder der conſtanten Ketten muß Becquerel genannt werden. Die Fig. 135 ſtellt ein Element einer conſtanten Becquerel'ſchen Kette dar; es beſteht aus einem hohlen Cylinder *a* von ganz dünnem Kupferblech, welcher durch etwas Sand *b*

beſchwert und von allen Seiten verſchloſſen iſt. Der untere Boden *c* iſt eben, der obere *d* iſt koniſch, über demſelben erhebt ſich ein Rand *e*, in dem mehrere Löcher angebracht ſind. Der ganze Cylinder iſt nun mit einer Thierblaſe *g* umgeben, welche an dem Rande *e*, über den Löchern *f*, befeſtigt iſt. Auf den Kegel *d* gießt man nun eine Auflöſung von Kupfervitriol, welche durch die Löcher *f* ausläuft, um den Raum zwiſchen der Blaſe und dem Cylinder *a* auszufüllen; auf den Kegel *d* werden einige Stücke Kupfervitriol gelegt, welche nach und nach in der Flüſſigkeit aufgelöſ't werden, von welcher ſie immer umſpült ſeyn müſſen. Die Blaſe iſt von einem hohlen Zinkcylinder *h* umgeben, welcher der Länge nach aufgeſchlitzt iſt, ſo daß man ihn nach Belieben etwas enger oder weiter machen kann. Dieſer Zinkcylinder ſowohl, wie die Blaſe, welche den Kupfercylinder und die Kupfervitriollöſung enthält, ſind in ein Gefäß *i* von Glas oder Porzellan getaucht, welches verdünnte Schwefelſäure oder eine Löſung von Zinkvitriol oder Kochſalz enthält. Zwei ſtarke Kupferdrähte *p* und *n*, von denen der eine an den Zinkcylinder, der andere an das Kupfer angelöthet iſt, bilden die beiden Pole des Elementes. Stellt man zwiſchen dieſen beiden Poldrähten eine metalliſche Verbindung her, ſo beginnt die Circulation des elektriſchen Stromes.

Daniel's conſtante Batterie iſt nur eine Modification der Becquerel'ſchen. Ein maſſiver Zinkcylinder befindet ſich mit verdünnter Schwefelſäure in einer Blaſe oder in einem hohlen unten verſchloſſenen Cylinder von poröſem Thon (der Maſſe der irdenen Pfeifen). Dieſer Thoncylinder wird nun ſammt ſeinem Inhalte in ein cylindriſches Kupfergefäß geſtellt, welches mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllt iſt.

Die Daniel'ſche Batterie iſt Figur 136 und Figur 137 dargeſtellt.

Fig. 136.

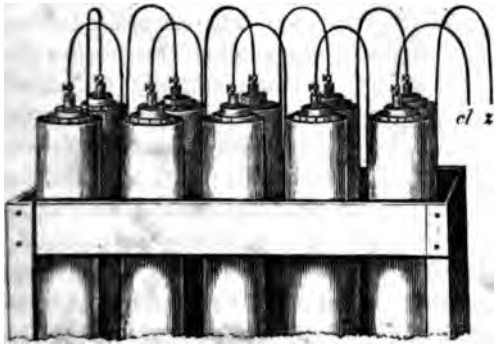
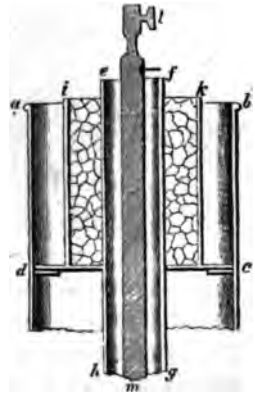


Fig. 137.



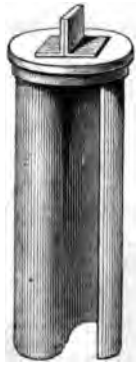
Die letzte dieſer beiden Figuren zeigt den oberen Theil eines Elementes, die erſte die ganze Batterie. *e f g h* iſt der Thoncylinder, der mit Schwefelſäure gefüllt iſt und in deſſen Mitte ſich ein maſſiver Zinkcylinder *m* befindet. Der Thoncylinder ſelbſt ſteht in der Mitte eines mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinders. Am oberen Ende des Kupfercylinders befindet ſich ein Behälter *i k*, welcher an den Seiten und am Boden durchlöchert iſt. Dieſer Behälter nun iſt mit Stücken von Kupfervitriol angefüllt, welche beſtändig mit der Flüſſigkeit des Kupfercylinders in Berührung ſind; in dem Maaße nun, als ſich während der Circulation des Stromes metalliſches Kupfer an den Wänden des Kupfergefäßes abſcheidet, wird oben eine entſprechende Menge des Salzes aufgelöſ't.

Jeder Zinkcylinder iſt mit dem Kupfergefäße des folgenden Paares durch einen Draht verbunden, wie man Fig 136 ſieht.

Bei beiden Apparaten kommen zwei Flüſſigkeiten vor, welche entweder durch die Thierblaſe oder durch die poröſe Thonmaſſe getrennt ſind. Dieſe Scheidewand hindert jedoch nicht, daß die beiden Flüſſigkeiten in Berührung kommen, ſie hindert nur ihre Miſchung. Bei der Becquerel'ſchen Kette iſt die Löſung des Kupfervitriols innerhalb, bei der Daniel'ſchen außerhalb der Scheidewand.

Fig. 138.

Fig. 139.



Die Grove'ſche Batterie iſt aus Zink und Platin conſtruirt; Fig 138 ſtellt ein Element der Grove'ſchen Batterie in ihrer zweckmäßigſten Form dar. In einem runden Glasgefäße, welches verdünnte Schwefelſäure enthält, ſteht der hohle Zinncylinder *z*. Innerhalb deſſelben ſteht ein hohler Cylinder von poröſem Thon, deſſen Boden aber geſchloſſen iſt. Dieſer Thoncylinder, welcher alſo ein Gefäß bildet, welches Flüſſigkeit durchſickern läßt, wird mit Salpeterſäure gefüllt, in welche das Platinblech eingetaucht wird. Das Platinblech iſt, wie man aus Fig. 139 deutlicher ſieht, an einem runden Brettchen befeſtigt, welches gleichſam den Deckel für die Thonzelle bildet. In dieſem Deckel ſteckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befeſtigt iſt, während oben eine Meſſingklammer aufgeſchraubt

wird. Eine ähnliche Messingklammer sitzt auf den Messingcylinder. Diese Klammern haben oben runde Löcher, in welche man Draht einstecken und durch die obere Schraube fest einklemmen kann; mit Hülfe dieser Klammer kann man nun leicht das Platinblech des einen Elementes mit dem Zink des folgenden verbinden und so die einzelnen Elemente gleichsam zur Säule vereinigen. Verbindet man dagegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, durch einen zweiten alle Platinbleche, so erhält man eine Combination, welche wirkt wie ein Element von sehr großer Oberfläche.

So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. In dieser Hinsicht besonders verdient Bunsen's constante Zink-Kohlenbatterie allgemeine Empfehlung, da man mit dieser Einrichtung ganz ungemein kräftige Wirkungen mit einem verhältnißmäßig sehr geringen Kostenaufwande hervorbringen kann.

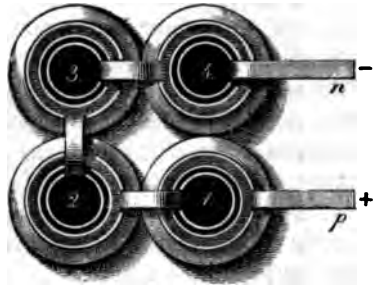
In der Bunsen'schen Batterie ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt, und zwar wird die Kohle in Form von hohlen Cylindern angewendet. Ein solcher hohler, unten offener Cylinder von 4 Zoll Höhe, 2½" Durchmesser und ungefähr 2‴ Wanddicke ist, wie man in Fig. 140 sieht, in ein Glasgefäß gestellt, welches oben etwas enger ist, so daß hier kein merklicher Zwischenraum zwischen der Kohle und dem Glase bleibt, der Cylinder also ganz fest im Glase steht. In die Höhlung des Kohlencylinders wird nun ein hohler unten verschlossener Cylinder von poröſem Thon gestellt, welcher bei einer Höhe von ungefähr 3½" einen solchen Durchmesser hat, daß er eben in die Höhlung des Kohlencylinders paßt und zwischen dem Thon und der Kohle nur noch ein ganz geringer Zwischenraum bleibt. Die Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, das Glas aber enthält so viel concentrirte Salpetersäure, daß, wenn der Thoncylinder eingesetzt ist, fast der ganze noch freie Raum des Glases bis zum engeren Halse mit dieser Flüssigkeit angefüllt ist.

Fig. 140.

Das obere Ende des Kohlencylinders ragt aus dem Glase hervor und ist schwach konisch abgedreht, so daß ein ebenfalls etwas weniges konischer Ring *a* von Zink fest aufgesetzt werden kann. Der Ring trägt vermittelst des Zinkbügels *b* einen hohlen Zinkcylinder *c*, welcher ungefähr 3" hoch ist und 1" 3‴ im Durchmesser hat. Dieser Cylinder *c* hängt in die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle des folgenden Glases.

Wie ein Zinkkohlenpaar mit dem nächſten verbunden iſt, ſieht man deutlich aus Fig. 141, welche eine Combination von 4 Paaren im Grundriſſe dargeſtellt. Die Kohlencylinder ſind durch horizontale Schraffirung unterſchieden. Innerhalb eines jeden Kohlencylinders ſieht man in der Figur zwei weiße Ringe; der äußere derſelben ſtellt den von oben geſehenen Thoncylinder, der innere den Zinkcylinder dar. Der Zinkcylinder des erſten Glaſes iſt durch einen Bügel mit dem Zinkringe verbunden, welcher den Kohlencylinder des zweiten Glaſes umfaßt. Ebenſo verbindet ein Zinkbügel den Zinkcylinder des zweiten mit dem Zinkringe des dritten Glaſes, und ein dritter Bügel verbindet den dritten Zinkcylinder mit dem vierten Zinkringe. Der Ring, welcher auf dem erſten Kohlencylinder aufſitzt, endigt mit einem Zinkſtreifen, welcher als poſitiver Pol dient; der Zinkſtreifen *n*, mit welchem der Zinkcylinder im vierten Glaſe endigt, iſt der negative Pol der Kette.

Fig 141.



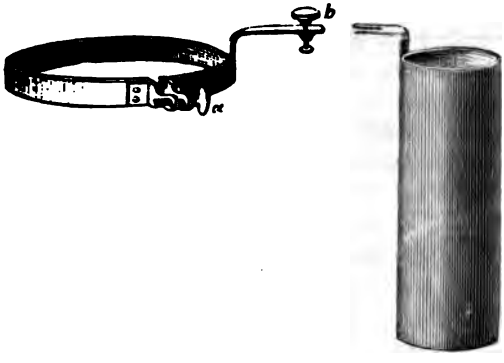
Auf dieſelbe Weiſe werden Ketten von beliebig vielen Paaren zuſammengeſetzt.

In jedem einzelnen Paare geht der poſitive Strom von dem die Kohle umſchließenden Zinkringe durch den Bügel zum Zinkcylinder des nächſten Glaſes, von dieſem durch die verdünnte Schwefelſäure, durch die Poren der Thonzelle und die Salpeterſäure zur nächſten Kohle u. ſ. w.

Bei der eben beſchriebenen Einrichtung der Bunſen'ſchen Kette iſt es ein Uebelſtand, daß der Zinkcylinder in dem einen Glaſe mit dem Ringe, welcher die Kohle des nächſten Glaſes umfaßt, in feſter Verbindung ſteht; dadurch wird es nämlich unmöglich, irgend einen Zinkcylinder aus der Flüſſigkeit herauszuheben, ohne die ganze Kette vom negativen Pole an auseinander zu nehmen; alsdann iſt es bei dieſer Einrichtung unmöglich, die einzelnen Elemente unter ſich ſo zu combiniren, daß alle Kohlencylinder und dann alle Zinkcylinder mit einander verbunden ſind, ſo daß man gleichſam ein Element von ſehr großer Oberfläche erhält. Dieſe Nachtheile werden durch folgende Einrichtung gehoben. Statt des Zinkringes *a* in Fig. 140 wird ein Kupferring, welcher Fig. 142 dargeſtellt iſt, um den Kohlencylinder gelegt, und ein feſtes Anſchließen durch die Schraube *a* bewirkt; an dieſen Kupferring iſt ein Kupferſtreifen angenietet, an deſſen Ende ſich eine Schraube *b* befindet. An den Zinkcylinder iſt ein

Kupferbügel angelöthet, dessen Ende eingeschlitzt ist, so daß man den Zinkstreifen leicht zwischen dem Ende des Kupferstreifens und dem Kopfe der Schraube *b* festklemmen kann, wodurch dann der Ring mit dem Zinkcylinder verbunden ist.

Fig. 142.



Der letzte Kupferring, welcher den positiven, und der letzte Zinkcylinder, welcher den negativen Pol bildet, sind mit längeren Kupferstreifen versehen.

Fig. 143.

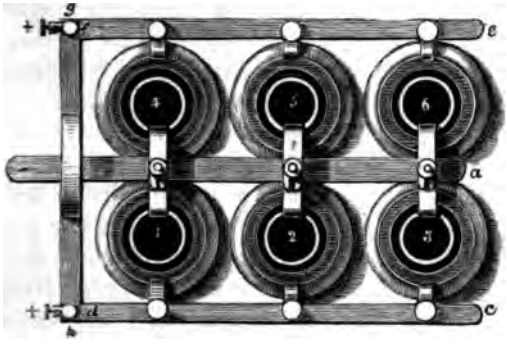
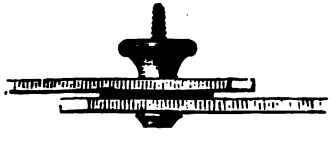


Fig. 143 zeigt 6 Elemente, welche so verbunden sind, daß einerseits alle Kohlen-, und andererseits alle Zinkcylinder verbunden sind, eine Combination, welche ebenso wirkt, wie ein einziges Element von 6facher Oberfläche. In Fig. 144 sieht man deutlicher, auf welche Weise der Kupferstreifen *a b* zwischen die Kupferbügel je zweier Zinkcylinder eingeklemmt ist. Der Kupferstreifen *c d* ist zwischen den Enden der an den Kupferringen der Elemente 1, 2 und 3 befestigte Kupferstreifen eingeklemmt; auf dieselbe Weise verbindet der Kupferstreifen *e f* die Kohlen der Elemente 4, 5 und 6. An den Stellen, wo die Kupferstreifen *c d* und *e f* eingeklemmt werden, sind sie natürlich rechtwinklig auf ihre Längenrichtung bis zur Mitte eingeschlitzt, ähnlich wie dies bei den Kupferbügel der Fall ist, welche sich an den Zinkcylindern befinden.

Fig. 144.



Der Kupferstreifen *c f* ist endlich mit *c d* durch einen Kupferstreifen *g h*

verbunden, welcher in der Mitte in die Höhe gebogen iſt, damit er *a b* nicht berührt.

Ueber die Bereitung der Kohlencylinder iſt noch Folgendes zu ſagen: Man erhält die Kohlenmaſſe durch Glühen eines durchgeſiebten Gemenges von völlig ausgeglühten Coaks mit ebenfalls fein pulveriſirten, möglichſt backenden Steinkohlen, die man in dem annähernden Verhältniſſe von 1 zu 2 mit einander miſcht. Zeigt ſich die Maſſe nach dem Glühen zu zerreiblich und locker, was bei Anwendung weniger fetter Steinkohlen der Fall zu ſeyn pflegt, ſo muß das Verhältniß der letzteren gegen das der Coaks vermehrt werden. Iſt dagegen die Steinkohle überwiegend, ſo zerklüftet ſich die Kohle in einzelne nicht zuſammenhängende Stücke. Hat man das richtige Verhältniß der Gemengtheile für eine Kohlenart einmal ermittelt, ſo iſt ein Mißlingen der Darſtellung ſpäter nicht mehr zu befürchten. Das Glühen geſchieht bei mäßigem Kohlenfeuer in Formen von Eiſenblech, welche 10 bis 12 Operationen aushalten.

Um die hohlen Cylinder zu erhalten, wird eine cylindriſche Holzſchachtel in die Blechform geſtellt und der Zwiſchenraum zwiſchen der hölzernen und eiſernen Wandung mit dem Kohlengemenge ausgefüllt. Die bedeutende Volumenveränderung, welche die Kohle beim Glühen erleidet, erlaubt nicht, dieſe Schachtel durch eine Blechrolle zu erſetzen.

Die auf dieſe Art bereitete Kohle beſitzt zwar ſchon eine hinreichende Feſtigkeit, allein ſie geſtattet in dieſer Form wegen ihrer großen Poroſität noch keine Anwendung. Um ihr die nöthige Dichtigkeit und eine den härteren Geſteinen an Feſtigkeit kaum nachſtehende Beſchaffenheit zu ertheilen, tränkt man ſie vor dem zweiten Glühen in concentrirter Zuckerlöſung, zu der man die ſchlechteſten Zuckerabfälle benutzen kann, und trocknet ſie darauf, bis der Zucker in der Form wieder feſt geworden iſt. Leitungsfähigkeit und elektromotoriſche Kraft erlangt die Kohle erſt dadurch, daß man ſie in einem mit Kohlenſtücken ausgefüllten, bedeckten feuerfeſten Gefäße der mehrſtündigen Einwirkung einer ſtarken Weißglühhitze ausſetzt, was am leichteſten in einem gewöhnlichen Töpferofen geſchieht. Die nach dieſen Angaben bereitete Kohle iſt vollkommen homogen, wenig porös, nicht im mindeſten abfärbend, klingend und ſo feſt, daß ein 6 Loth ſchwerer, 3 Linien dicker hohler Cylinder, ohne zu zerbrechen, 4—6 Fuß tief auf Holz fallen kann.

Die rohe Bearbeitung dieſer Cylinder geſchieht vor ihrem Eintauchen in die Zuckerlöſung vermittelſt einer Reibe aus Blech. Um ſie gehörig cylindriſch zu machen, werden ſie nach dem zweiten Glühen auf der Drehbank innen und außen abgedreht.

65 **Phyſiologiſche Wirkungen der Säule.** Die Nervenzuckungen, welche die Elektricität der Volta'ſchen Säule hervorbringt, ſind nicht

weniger heftig, als die der gewöhnlichen elektriſchen Batterien; ihre Stärke hängt beſonders von der Anzahl der Plattenpaare, alſo von der Größe der Spannung ab. Um den Entladungsſchlag der Säule durch den menſchlichen Körper zu leiten, muß man die Hände etwas anfeuchten, am beſten mit Salzwaſſer, denn die Epidermis iſt ein ſehr ſchlechter Leiter. Berührt man mit trocknen Fingern die beiden Pole einer Säule von 20 bis 30 Paaren, ſo fühlt man nicht den mindeſten Schlag, er wird aber ſogleich merklich, wenn man die Hände befeuchtet hat. Der Schlag einer Säule von 80 bis 100 Paaren iſt ſehr empfindlich.

Man empfindet einen Schlag in dem Momente, in welchem man die Kette durch die Finger ſchließt; ſo lange die Kette geſchloſſen bleibt, circulirt der elektriſche Strom durch den Körper, ohne eine ſehr merkliche Wirkung auf das Gefühl hervorzubringen, nur bei kräftigen Säulen von vielen Plattenpaaren empfindet man während des Geſchloſſenſeyns ein brennendes ſingelndes Gefühl an den Stellen, wo der Strom in den Körper eingeführt wird. Einen zweiten Schlag empfindet man aber in dem Augenblicke, in welchem man die Kette wieder öffnet; dieſer letztere Schlag, der Trennungsſchlag, iſt aber bei weitem ſchwächer als der Schließungsſchlag.

Wenn man einen Finger mit dem einen Pole der Säule in Berührung läßt, den Finger am andern Pole aber in raſcher Aufeinanderfolge abhebt und wieder aufſetzt, ſo folgen die Schläge ebenſo raſch auf einander. Neef hat eine beſondere Vorrichtung, das Blitzrad, conſtruirt (Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 352), vermittelſt deſſen es möglich iſt, den durch den Körper geleiteten Strom der Volta'ſchen Säule ſehr raſch zu unterbrechen und wieder zu ſchließen. Durch dieſe ſchnelle Folge der Schließungs- und Trennungsſchläge wird die Wirkung auf die Nerven außerordentlich geſteigert. Die Empfindung nähert ſich mehr derjenigen, welche der continuirliche Strom einer ſehr kräftigen Säule hervorbringt, kann aber leicht bis zum Unerträglichen geſteigert werden.

In den erſten Zeiten nach der Entdeckung des Galvanismus wurden zahlreiche Verſuche über die mediciniſche Wirkſamkeit galvaniſcher Ströme gemacht. Man verſuchte, Nervenſchmerzen, Gicht, Rheumatismus, Gliederlähmung u. ſ. w. zu heilen; man leitete die Ströme vermittelſt metalliſcher Armaturen durch die afficirten Organe und vermehrte allmälig die Zahl der Plattenpaare, um die Wirkungen kräftiger zu machen. Die für mediciniſche Zwecke geeignetſten Apparate werden wir weiter unten kennen lernen. Es ſcheint wohl jetzt ausgemacht zu ſeyn, daß gewiſſe Uebel durch eine mit Einſicht geleitete galvaniſche Behandlung geheilt werden können.

Der galvaniſche Strom wirkt auch auf die Nerven friſch getödteter

Thiere, denn, wie wir geſehen haben, werden Froſchſchenkel ſchon durch eine einfache galvaniſche Kette in Zuckungen verſetzt.

Scheintodte oder ohnmächtige Thiere werden durch galvaniſche Schläge wieder ins Leben zurückgerufen.

Schon durch eine einfache Kette läßt ſich eine blitzähnliche Erſcheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Verſuch auf mannigfache Weiſe anſtellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel ſelbſt oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und berührt ſie darauf mit einem Zinkſtücke, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Munde ſtecken hat. Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, ſo wird die Lichterſcheinung ſtärker.

Legt man ein Zinkſtück auf, ein Silberſtück unter die Zunge, bringt man alsdann die vorderen Enden beider Metalle in Berührung, ſo empfindet man einen eigenthümlich bitteren Geſchmack. Auch dieſer Verſuch iſt auf mannigfache Weiſe abgeändert worden.

66 **Phyſikaliſche Wirkungen der Säule.** Die galvaniſchen Ströme bringen, wie die der Reibungselektricität, Wärme und Licht hervor.

Wenn man einen galvaniſchen Strom durch einen Metalldraht leitet, ſo erwärmt er ſich; damit aber eine kräftige Wirkung erhalten wird, muß der Schließungsdraht recht kurz und dünn ſeyn. Die Stärke der Erhitzung richtet ſich nach der Größe der Metallplatten und nicht nach ihrer Anzahl. Um Metalldrähte glühend zu machen, hat man nur eine einfache Kette von großer Oberfläche nöthig. Ein Bunſen'ſcher Apparat eignet ſich auch ganz vorzüglich zu dieſen Glühverſuchen. Je größer die wirkende Oberfläche des galvaniſchen Apparates iſt, deſto dickere Drähte kann man damit glühend machen und ſchmelzen.

Eiſen- und Stahldraht wird weißglühend, ſchmilzt und verbrennt unter lebhaftem Funkenſprühen.

Platindraht wird lebhaft glühend und ſchmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug iſt.

Dünne Goldblättchen werden verflüchtigt, und da man die Pole mit ihnen nicht berühren kann, ohne daß ſie ſich an der Berührungsſtelle in Dampf verwandeln, ſo wird die Kette fortwährend unterbrochen und wieder geſchloſſen, und dabei ſieht man eine Menge kleiner blitzender Funken von grünlicher Farbe überſpringen. Silberblättchen zeigen ähnliche Erſcheinungen.

Eine der intereſſanteſten durch die Säule hervorgebrachten Licht- und Wärmeerſcheinungen iſt H. Davy's Verſuch mit Kohlenſpitzen. An einer großen Glocke oder einem Ballon von 10 bis 12 Zoll Durchmeſſer ſind diametral gegenüberſtehend zwei Lederbüchſen angebracht, durch welche zwei Metallſtäbe hindurchgehen, die man bis zur Berührung einander

nähern und nach Belieben von einander entfernen kann. Am Ende eines jeden Metallstabes ist ein Kegel von Kohle (am besten von der Masse der Bunsen'schen Cylinder) befestigt, der aber das Metall mit einer großen Oberfläche berühren muß. Der Apparat wird luftleer gemacht, die Kohlenspitzen fast bis zur Berührung genähert; läßt man nun den Strom einer kräftigen Säule, d. h. den Strom einer Säule von vielen und großen Plattenpaaren, hindurchgehen, so geht der Strom zwischen den Kohlen über, deren Spitzen erhitzt werden und mit einem so blendenden Lichte leuchten, daß es die Augen kaum ertragen können. Wenn einmal der Strom im Gange ist, kann man auch die Spitzen allmälig von einander entfernen, ohne daß die Elektricität aufhört, den leeren Raum zwischen den Spitzen zu durchströmen; auf diese Weise bildet sich ein ungemein glänzender Lichtbogen.

Zur Hervorbringung dieses Kohlenlichtes ist der luftleere Raum nicht wesentlich nothwendig, nur wird im lufterfüllten Raume die Kohle zum Theil verzehrt.

Das helle Licht zwischen Kohlenspitzen läßt sich schon mit einem Bunsen'schen Apparate von 4 Elementen zeigen. Man hat zu diesem Ende nur zwei Kohlenstücke, die in derselben Weise präparirt sind wie die Kohlencylinder, mit den Polen *n* und *p* und dann die Kohlenstücke selbst in Berührung zu bringen. Die Berührung zwischen einem solchen Kohlenstücke und einem Pole muß in möglichst vielen Punkten stattfinden, die Kohlen selbst müssen sich aber nur in einer Spitze berühren; an der Berührungsstelle erscheint ein kleiner ungemein leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Elemente vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Elementen erhält man ein Licht, welches das Drumond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Pole zum andern übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens.

Chemische Wirkungen der Volta'schen Säule. Die erste und 67
wichtigste chemische Wirkung der Säule wurde zu Anfange dieses Jahrhunderts (30. April 1800) von Carlisle und Nicholson entdeckt. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Geldstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas merklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald

ſtieg das Waſſerſtoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der poſitive, aus Zink beſtehende Poldraht ſich oxydirte. Wird für den poſitiven Poldraht Platin oder Silber genommen, ſo oxydirt er ſich nicht, ſondern das Sauerſtoffgas ſteigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe.— So war denn endlich das Waſſer direct in ſeine Elemente zerlegt. Cavendiſh hatte zwar ſchon gezeigt, daß Sauerſtoff und Waſſerſtoff ſich zu Waſſer verbinden, aller Anſtrengung ungeachtet war aber die directe Zerſetzung des Waſſers noch nicht gelungen. Ein paſſender Apparat zur Waſſerzerſetzung iſt Fig. 145 dargeſtellt. Er beſteht aus einem Glaſe, in deſſen Boden zwei Platindrähte *f* und *f'* eingeſchmolzen ſind, welche ſich jedoch nicht berühren dürfen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* ſind mit Waſſer gefüllt und umgeſtürzt in das Glas eingeſetzt, ſo daß ſich über jedem der beiden Drähte ein ſolches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Kette in Verbindung bringt, entwickeln ſich Gasblaſen in reichlichem Maaße. Reines Sauerſtoffgas ſteigt immer in dem einen Glöckchen über dem poſitiven Pole auf, das Waſſerſtoffgas im andern. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß das Waſſer in den Glöckchen von dem Waſſer in dem Gefäße nicht abgeſperrt ſeyn darf, damit der Strom von einem Drahte durch die Flüſſigkeit zum andern gelangen könne.

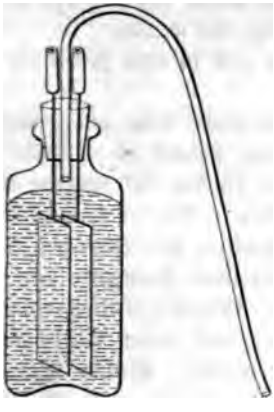
Fig. 145.

Die Gasentwickelung iſt um ſo lebhafter, je näher die Poldrähte *f* und *f'* einander ſind und je größer die Oberfläche des Metalls iſt, welche mit dem Waſſer in Berührung ſteht. Man hat deshalb bei vielen Apparaten, welche zur Waſſerzerſetzung dienen ſollen, die Drähte durch Platinplättchen erſetzt.

Das deſtillirte und vollkommen reine Waſſer wird auf dieſe Weiſe doch nur langſam zerſetzt, ſobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt oder einige Körnchen Salz im Waſſer auflöſ't, wodurch ſein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine ſehr lebhafte Gasbildung, ſo daß man in kurzer Zeit eine ziemlich bedeutende Menge der Gaſe auffangen kann. Wie die Quantität der gebildeten Gaſe von der Stromſtärke abhängt, werden wir ſpäter ſehen.

Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gasarten getrennt aufzufangen, kann man ſich des Apparates Fig. 146 (a. f. S.) bedienen, in welchem mehr Waſſer zerſetzt wird, weil zwei größere Polplatten von Platin ſich viel näher ſtehen. Das Knallgas entweicht durch eine gebogene Röhre, und wenn man die Oeffnung derſelben unter Waſſer taucht, ſo kann man das Gas auffangen oder die einzelnen entweichenden Blaſen *ſogleich verpuffen.*

Fig. 146.



Die Sauerstoffmenge, welche am positiven Pole frei und in der Röhre *o*, Fig. 145, gesammelt wird, ist dem Volumen nach immer nur halb so groß als die des Wasserstoffs, welcher am anderen Pole frei wird und in der Röhre *h* aufsteigt. Die Gase werden also gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden. Das Wasser besteht bekanntlich aus 1 Aequivalent Sauerstoffgas + 1 Aeq. Wasserstoff. Ein Aeq. Wasserstoffgas aber nimmt unter fast gleichen Umständen einen doppelt so großen Raum ein als 1 Aeq. Sauerstoff. Die durch die Säule ausgeschiedenen Gase würden also, mit einander verbunden, wieder Wasser geben.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoff zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermolekûls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermolekûle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 147 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 *verbindet sich mit* dem Sauerstoff von 3 u. s. w.

Fig. 147.

Auf dieſe Weiſe geht auf der ganzen Strecke zwiſchen beiden Polen eine beſtändige Zerſetzung und Wiederbildung von Waſſer vor ſich, nur an den Polen ſelbſt können die Beſtandtheile deſſelben frei werden.

Gerade ſo wie zwiſchen den Polen findet auch in allen Zellen der galvaniſchen Kette eine Waſſerzerſetzung Statt.

Die Oxyde werden ebenſo durch die galvaniſche Kette zerlegt wie das Waſſer. Sauerſtoff erſcheint am + Pol, das Radikal am — Pol. Für leicht reducirbare Metalloxyde kann man den Verſuch auf folgende Weiſe machen: Auf ein Platinblech, welches mit dem + Pol der Säule in Verbindung iſt, ſtreut man etwas von dem trocknen pulverförmigen Oxyde und berührt dann dieſes Pulver mit dem negativen Drahte, ſo ſieht man bald an dem Ende des Drahtes kleine Metallkügelchen erſcheinen. Schwerer reducirbare Oxyde müſſen, beſonders wenn ſie pulverförmig ſind, etwas mit Waſſer angefeuchtet werden. Freilich wird auch das Waſſer zum Theil zerlegt, es dient aber auch, um die Leitungsfähigkeit zu vergrößern; nach einiger Zeit ſieht man, wenn die Säule kräftig genug iſt, kleine Metallkügelchen am negativen Pole erſcheinen.

Eine neue Epoche der Wiſſenſchaft begann mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Klaſſe der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metalliſchen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Um Kali zu zerlegen, muß man eine ſehr kräftige Säule anwenden. Macht man den Verſuch in der oben angegebenen Weiſe, ſo ſieht man zahlreiche Metallkügelchen am negativen Pole erſcheinen und unter Funkenſprühen wieder verſchwinden. Es iſt dies das Kalium, welches bei der Zerlegung des Kalis frei wird. Seine Verwandtſchaft zum Sauerſtoffe iſt aber ſo groß, daß es ſich, mit der Luft in Berührung, ſogleich wieder oxydirt, wenn es aber mit Waſſer in Berührung kommt, ſo entzieht es dieſem den Sauerſtoff und entzündet das Waſſerſtoffgas, daher denn die Feuererſcheinung. Man muß deshalb das Kalium in einer nicht ſauerſtoffhaltigen Flüſſigkeit aufbewahren. Man gebraucht zu dieſem Zwecke gewöhnlich Steinöl, welches aus Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zuſammengeſetzt iſt.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeſchiedene Kalium ſicherer zu ſammeln. In ein Stück kauſtiſchen Kalis, welches zerſetzt werden ſoll, wird eine Höhlung gemacht und Queckſilber in dieſelbe gegoſſen. Das Kali wird dann auf ein mit dem poſitiven Pole der Säule in Verbindung ſtehendes Platinſtück gelegt, das negative Drahtende aber in das Queckſilber getaucht. Alsbald geht die Zerſetzung *vor ſich, Sauerſtoff* wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet ſich

mit dem Queckſilber zu einem ziemlich beſtändigen Amalgam. Durch Deſtillation in einer Atmoſphäre von Steinöldampf kann man alsdann das Queckſilber abſcheiden und das Kalium in reinem Zuſtande erhalten.

Auch die Salze werden durch den galvaniſchen Strom zerlegt, und zwar erſcheint die Säure am poſitiven, die Baſis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt ſich dem Auge auf folgende Weiſe ſehr gut ſichtbar machen. Man fülle eine Vförmig gebogene Röhre, Fig. 148, mit einer Salzlöſung, die durch Lackmustinctur violet gefärbt iſt. Taucht man nun auf der einen Seite den poſitiven, auf der andern den negativen Poldraht in die Flüſſigkeit, ſo wird ſie ſich am poſitiven Pole roth, am negativen blau färben. Vertauſcht man nun die Pole, ſo ſtellt ſich erſt allmälig die urſprüngliche violette Färbung wieder her, dann aber erſcheint Roth da, wo vor der Vertauſchung der Dräthe Blau war, und umgekehrt.

Fig. 148.

Gießt man eine Salzlöſung in zwei neben einander ſtehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbeſtgewebe oder durch einen Aförmigen mit der Flüſſigkeit gefüllten Heber verbunden ſind, taucht man dann in das eine Gefäß den poſitiven, in das andere den negativen Poldraht, ſo geht die Zerſetzung ebenfalls vor ſich, und nach einiger Zeit findet ſich die Säure in dem Gefäße, in welchem der poſitive Draht eingetaucht iſt, die Baſis im andern. Selbſt wenn man in das Gefäß *A*, welches den poſitiven Poldraht enthält, die baſiſche Löſung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, ſo findet ſich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Baſis in *B*. Man hat dieſe Verſuche auf mannigfache Weiſe abgeändert.

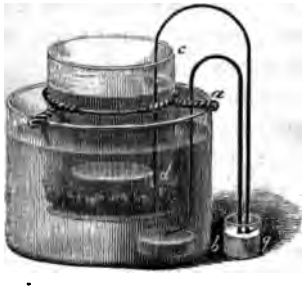
Nicht immer wird eine Salzlöſung durch den galvaniſchen Strom in Säure und Baſis, häufig nämlich wird nur die Säure oder die Baſis zerlegt. Eine Auflöſung von Kupfervitriol z. B. wird in der Weiſe zerlegt, daß ſich das Kupfer an dem negativen Pole ausſcheidet, während der Sauerſtoff des Kupferoxyds auf der andern Seite aus ſeiner bisherigen Verbindung austritt. Sehr ſchön geht dieſe Zerſetzung des Kupfervitriols in der Seite 145 beſchriebenen conſtanten Kette von Becquerel und in der Daniel'ſchen vor ſich. Wenn die Kette geſchloſſen iſt, ſo geht der poſitive Strom vom Zink durch die verdünnte Schwefelſäure, dann durch die Kupfervitriollöſung zum Kupfer. Wird das Zink, in Berührung mit dem Kupfer, + elektriſch, das Kupfer — elektriſch, ſo iſt Zink alſo der poſitive, das Kupfer der negative Pol, der poſitive Strom tritt alſo beim Zink, der negative am Kupfer in die Flüſſigkeit ein. Auf der einen Seite der Scheidewand wird nun Waſſer zerlegt, der Sauerſtoff geht an das Zink, um Zinkoxyd zu bilden, welches ſich in der Säure

auflöſ't, wodurch dann Zinkvitriol entſteht. Das Waſſerſtoffgas geht bis an die Scheidewand und bildet dort gleichſam den poſitiven Pol für den Strom, der nun in die andere Flüſſigkeit übergeht. Das Kupferoxyd wird durch dieſen Strom zerlegt, der Sauerſtoff des Oxyds wandert zum poſitiven Pole, alſo zur Scheidewand, wo er ſich mit dem auf der andern Seite ausgeſchiedenen Waſſerſtoffe zu Waſſer verbindet, während das Kupfer am negativen Pole, alſo an der Kupferplatte, metalliſch ausgeſchieden wird.

Von dieſem metalliſchen Niederſchlage des Kupfers hat man eine höchſt intereſſante Anwendung gemacht, welche unter dem Namen der Galvanoplaſtik bekannt iſt; man braucht nämlich nur dem negativen Elemente einer ſolchen Combination eine beſtimmte Form zu geben, um Abdrücke dieſer Form von metalliſchem Kupfer zu erhalten.

Um die Becquerel'ſche Kette zu dieſem Zwecke anzuwenden, muß man ihr eine etwas andere Geſtalt geben. Zur Vervielfältigung von Münzen, Medaillen u. ſ. w. eignet ſich ganz beſonders der in Fig. 149 dargeſtellte Apparat. *a b* iſt ein oben offenes, etwa 6—8 Zoll im Durchmeſſer haltendes Glasgefäß. In dieſes hängt ein zweites engeres Glasgefäß *c d* von oben hinein, welches unten mit einer Thierblaſe zugebunden iſt. Etwas über der Mitte iſt um dieſes engere Glasgefäß ein Draht feſt herumgewunden, der in drei Armen ausläuft, welche, auf dem Rande des äußern Glasgefäßes aufliegend, das innere tragen, ſo daß die Blaſe noch 1,5 bis 2 Zoll hoch über dem Boden des größeren Gefäßes ſich befindet. Das innere Gefäß wird nun mit ſehr verdünnter Schwefelſäure, der Zwiſchenraum zwiſchen dem inneren und dem äußeren Cylinder mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllt. In der verdünnten Schwefelſäure ruht auf einem Kreuze von Holzſtäbchen ein Zinkblock, an welchen ein Kupferdraht gelöthet iſt, welcher den Zinkblock mit dem Queckſilbernäpfchen *q* verbindet. Aus dem Queckſilber dieſes Näpfchens geht ein zweiter Kupferdraht zu der in der Kupfervitriollöſung liegenden Form, welche nothwendig aus einem Stoffe beſtehen muß, welcher mehr elektronegativ iſt als Zink.

Fig. 149.



Eine ſolche Form kann man ſich verſchaffen, wenn man von der zu vervielfältigenden Münze einen Abguß von der leichtflüſſigen Roſe'ſchen Metallegirung macht. Noch leichter ſind Formen von Wachs und Stearin zu machen. Man ſchmilzt Wachs und Stearin mit etwas fein gepulvertem Graphit zuſammen und gießt die Flüſſigkeit auf die mit einem

Papierrande versehene Münze, so erhält man eine sehr schöne Form. Diese Form ist aber nicht leitend, sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer sehr dünnen zarten Schicht von feiner Kupferbronce überzieht. Dieser Ueberzug, welcher mit Hülfe eines zarten Pinsels gemacht wird, benimmt der Form durchaus nichts an Reinheit und Schärfe. Die Form wird in die Kupfervitriollösung so gelegt, daß die leitend gemachte Oberfläche nach oben gekehrt ist. Der Kupferdraht braucht mit der feinen Graphitschicht der Form nur eben in Berührung zu seyn.

Derjenige Theil des Kupferdrahtes, welcher in die Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, muß mit Schellack oder Siegellack überzogen seyn, weil sich sonst auch auf diesem Drahte metallisches Kupfer absetzt; nur da, wo er auf die Form aufgesetzt ist, muß er metallisch seyn.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam auf die Kupferfläche ab, und zwar setzt es sich zunächst um den Kupferdraht an; man muß deshalb von Zeit zu Zeit den Draht an einer andern Stelle der Form aufsetzen. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder in mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich der Zinkblock befindet, nur schwach sauer seyn.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Manchmal ist es vortheilhafter, die Lösung des Kupfervitriols mit der Form in das innere Gefäß, die Säure mit dem Zinkblocke aber in das äußere zu bringen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern, wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, Kupferplatten, selbst große Ku-

pferplatten, auf galvanoplaſtiſchem Wege zu vervielfältigen, und zwar ſo, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich ſind.

Endlich hat Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuſchmanier gemalte Bilder durch Galvanoplaſtik zu vervielfältigen. Auf eine überſilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflöſung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zuſetzt. Mit dieſer Farbe malt man auf die Platte ſo, daß die hellſten Lichter frei bleiben und die Farbe um ſo dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten ſeyn ſoll. Sobald das Bild fertig gemalt iſt, wird es mit Hülfe eines zarten Pinſels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplaſtiſchen Apparat eingeſetzt. Allmälig ſchlägt ſich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartheien der erſteren eben, die Schattenpartheien aber vertieft ſind; dieſe Platte liefert nun, wie eine geſtochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuſchten Zeichnung ähnlich ſehen. Thayer in Wien hat es in dieſer Manier ſchon zu großer Vollkommenheit gebracht, und es läßt ſich erwarten, daß ſie für die Kunſt noch von großer Wichtigkeit werden wird.

Ebenſo, wie ſich aus einer Auflöſung von Kupfervitriol auf galvaniſchem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette abſetzt, ebenſo ſetzen ſich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin, aus einer geeigneten Auflöſung am negativen Pole ab, und man kann auf dieſe Weiſe andere Metalle vergolden, verſilbern u. ſ. w. Näheres darüber würde uns hier zu weit führen.

Ein intereſſantes Beiſpiel von Metallfällungen bieten die Nobili'ſchen Farbenringe dar. Wenn man auf ein Silberplättchen einige Tropfen eſſigſaures Bleioxyd bringt und alsdann mit der Spitze eines Zinkſtückchens in der Mitte der Flüſſigkeit das Silber berührt, ſo bilden ſich um die Berührungsſtelle mehrere concentriſche, farbige Ringe. Noch ſchöner bilden ſich dieſe Ringe, wenn man die Flüſſigkeit zwiſchen die beiden Pole einer mehrplattigen Säule bringt und dem einen Pole die Form einer Platte, dem andern aber die einer Spitze giebt und die Spitze der Platte zukehrt, ſo daß der elektriſche Strom durch die Flüſſigkeit von der Spitze zur Platte oder umgekehrt übergeht. Auch mit anderen Flüſſigkeiten hat Nobili ähnliche Farbenringe erhalten.

Chlor-, Jod- und Brommetalle werden ebenfalls durch den elektriſchen Strom zerſetzt, und zwar ſcheidet ſich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am poſitiven Pole aus. Schon durch die allerſchwächſten Ströme kann das Jodkalium zerlegt werden.

Wenn man wässrige Lösungen der Einwirkung des elektrischen Stromes unterwirft, so werden die Resultate der Zersetzung sehr häufig durch die Gegenwart des Wassers modificirt. Um die Mitwirkung des Wassers zu vermeiden, hat Faraday viele Körper durch Schmelzen in flüssigen Zustand versetzt und so der Einwirkung des Stromes unterworfen. So zerlegte er z. B. Chlorblei, Chlorsilber u. s. w., indem er sie auf eine Glasplatte legte, durch eine Weingeistlampe schmolz und alsdann die beiden Poldrähte in die flüssige Masse eintauchte. Wenn in das geschmolzene Chlorsilber Poldrähte von Silber eingetaucht werden, so wird am negativen Pole Silber ausgeschieden, welches sich am Drahte ansetzt, während der andere Silberdraht durch das frei gewordene Chlor aufgelöst wird.

Faraday hat darauf aufmerksam gemacht, daß man bei den durch die Säule bewirkten Zersetzungen directe und sekundäre unterscheiden muß.

Die Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, welche an den beiden Polen auftreten, ebenso die Zersetzung der Chlorwasserstoffsäure in Chlor und Wasserstoff sind directe Zersetzungen, denn hier treten die beiden Elemente an den entgegengesetzten Polen auf. Unterwirft man aber Salpetersäure der Wirkung des Volta'schen Stromes, so wird das Wasser zersetzt, allein der Wasserstoff, welcher am negativen Pole ausgeschieden wird, zersetzt sogleich die Salpetersäure, indem wieder Wasser und salpetrige Säure gebildet wird. Am positiven Pole also wird Sauerstoff frei, am negativen salpetrige Säure, und zwar ist diese Erscheinung nicht direkt durch die zerlegende Kraft der Säule, sondern durch die vermittelnde Wirkung des zerlegten Wassers hervorgebracht, es ist also eine sekundäre Wirkung. So vereinigt sich bei einer Ammoniaklösung der Sauerstoff des zerlegten Wassers am positiven Pole mit dem Wasserstoff des Ammoniaks und Stickstoffgas wird frei. Viele sekundäre Wirkungen werden auf solche Weise hervorgebracht, namentlich wenn man wässrige Lösungen anwendet.

Bei solchen Körpern, welche nur aus zwei Elementen bestehen, hat das Verhältniß der Zusammensetzung einen wesentlichen Einfluß auf die Zerlegbarkeit; Chlorwasserstoffsäure, Chlorblei, Chlorsilber u. s. w. werden durch den elektrischen Strom leicht zerlegt, während die Perchloride der Zersetzung widerstehen. Faraday hat gezeigt, daß alle Substanzen, welche aus einem Aequivalent des einen Elementes und zwei oder mehreren Aequivalenten des andern Elementes bestehen, keine Elektrolyte sind; so nennt nämlich Faraday die durch den galvanischen Strom direkt zerlegbaren Körper. In die Klasse der Elektrolyte gehören unter den binären Verbindungen nur solche, bei welchen immer 1 Aequivalent des einen Elements mit 1 Aequivalent des andern verbunden ist. Das ist der

Grund, warum Schwefelſäure, Salpeterſäure und Ammoniak nicht unmittelbar durch den Galvanismus zerlegbar ſind. Schwefelſäure beſteht nämlich aus 1 Aeq. Schwefel und 3 Aeq. Sauerſtoff; Salpeterſäure aus 1 Aeq. Stickſtoff und 5 Aeq. Sauerſtoff; Ammoniak aus 1 Aeq. Stickſtoff und 3 Aeq. Waſſerſtoff.

Wir haben bisher immer von Zerſetzungen geſprochen, welche durch den galvaniſchen Strom hervorgebracht werden, er iſt aber auch ſehr geeignet, chemiſche Verbindungen zu begünſtigen. Nimmt man ein leicht oxydirbares Metall, etwa Zink, zum poſitiven Poldraht, ſo verbindet ſich das Metall ſehr leicht mit dem aus dem Waſſer ausgeſchiedenen Sauerſtoff. Zink löſ't ſich in verdünnter Schwefelſäure nur langſam auf, wenn es vollkommen chemiſch rein iſt; berührt man es aber mit einem Stück Silber, ſo beginnt augenblicklich eine lebhafte Gasentwickelung am Silber, während das Zink ſich mit dem Sauerſtoff zu Oxyd verbindet, welches durch die Säure aufgelöſ't wird.

Wenn man die beiden Poldrähte einer galvaniſchen Kette von Zink machte, ſo würde, wenn man beide in geſäuertes Waſſer eintaucht, die Zerſetzung des Waſſers gerade ſo vor ſich gehen, als ob man Platin oder Kupferdrähte angewandt hätte. Am negativen Poldrahte ſcheidet ſich das Waſſerſtoffgas aus, und dieſer Poldraht wird nun nicht von der Säure angegriffen, wie es der Fall wäre, wenn er nicht durch ſeine Verbindung mit der Säule elektronegativ und dadurch vor dem Anfreſſen geſchützt wäre, der poſitive Poldraht dagegen wird um ſo raſcher verzehrt.

Ein Metall, welches an und für ſich von einer Säure oder irgend einer andern Flüſſigkeit angegriffen wird, kann dadurch, daß man es mit einem noch mehr elektropoſitiven Metalle ſo in Berührung bringt, daß es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfreſſen geſchützt werden.

Während der Strom, welcher bei der Berührung zweier in derſelben Flüſſigkeit eingetauchten Metalle entſteht, die Wirkungen der Verwandtſchaft eines derſelben zu dem einen Elemente der Flüſſigkeit vergrößert, wird das Vermögen des andern Metalls, dieſelben Veränderungen zu erleiden, verhältnißmäßig verkleinert. So wird, wenn eine Zink- und Kupferplatte ſich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink ſchneller, das Kupfer weniger ſchnell oxydirt, als es außerdem der Fall ſeyn würde. Für dieſes Princip geben die Verſuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeſchlags der Schiffe ein ſchönes Beiſpiel. Eine Kupferplatte in Seewaſſer eingetaucht iſt einem ſchnellen Anfreſſen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eiſen iſt, ſo werden dieſe Metalle aufgelöſ't, das Kupfer aber dadurch geſchützt. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink, ſo groß wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu ſchützen.

Leider hat sich gezeigt, daß diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen seyn muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen an eisernen Pfannen, in welchen die Salzsole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst das gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab, goß die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatte gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schließen, der gebildete Zinkvitriol konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Temperatur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial erzielt wurde.

Elektrochemische Theorie. Die bisher besprochenen Erscheinungen 68
zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig seyn möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war, namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindungen in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muß doch zugegeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 129 angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die vollständige Spannungsreihe:

Sauerſtoff	Antimon
Schwefel	Tantal
Selen	Titan
Tellur	Silicium
Stickſtoff	Osmium
Chlor	Gold
Brom	Iridium
Jod	Rhodium
Fluor	Platin
Phosphor	Palladium
Arſenik	Queckſilber
Kohlenſtoff	Silber
Chrom	Kupfer
Molybdän	Uran
Bor	Wismuth
Vanadin	Blei
Wolfram	Cerium
Lanthan	Aluminium
Yttrium	Thorium
Kobalt	Beryllium
Nickel	Magneſium
Eiſen	Calcium
Cadmium	Strontium
Zink	Barium
Waſſerſtoff	Lithium
Mangan	Natrium
Zirconium	Kalium.

+

In dieſer Reihe ſind alle einfachen Stoffe enthalten, und jedem iſt ſeine Stelle angewieſen, obgleich in dieſer Beziehung noch manche Zweifel herrſchen, und die Stellung der meiſten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr, aber nicht genau beſtimmt iſt. Bei den wenigſten Körpern iſt dieſe Stellung durch direkte Verſuche ermittelt; für die meiſten hat man ſie aus ihrem chemiſchen Verhalten zu erſchließen geſucht.

Nach der elektrochemiſchen Theorie ſind die Atome der Elemente nicht an und für ſich elektriſch, ſie werden es erſt in Berührung mit anderen, und ſo kommt es denn, daß ein und derſelbe Körper bald poſitiv, bald negativ elektriſch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerſtoff das elektropoſitive, in Verbindung mit Waſſerſtoff das elektronegative Element.

Wir haben gesehen, daß zwei heterogene Metallplatten, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, daß aber der größte Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsfläche gebunden bleibt; so auch bei chemischen Verbindungen. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der großen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie $+E$ auf dem einen und $-E$ auf dem andern Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und, wo man auch den Körper berühren mag, eben so viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

Das elektrolytische Gesetz. Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein nur *einigermaßen starker* elektrischer Strom durch eine Flüssig- 69

keit hindurchgehen, ohne daß dieſer Durchgang von einer chemiſchen Zerſetzung begleitet iſt. In jeder Zelle eines jeden galvaniſchen Apparates findet eine ſolche Zerſetzung Statt, ſo lange er geſchloſſen bleibt, und Faraday hat gezeigt, daß die Quantität des elektriſchen Stromes der Zerſetzung in jeder einzelnen Zelle proportional iſt.

Daß zwiſchen der Leitung des elektriſchen Stromes durch Flüſſigkeiten und ihrer Zerſetzung eine innige Beziehung ſtattfindet, iſt wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemiſche Zerſetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der poſitive Strom vom Zink aus durch die Flüſſigkeit zum Kupfer, in derſelben Richtung wandern aber auch die Waſſerſtoffpartikelchen fort; ſie ſind die Träger der poſitiven Elektricität, welche durch ſie zu der Kupferplatte übergeführt wird. In der That haben wir geſehen, daß den Grundſätzen der elektrochemiſchen Theorie zufolge in jedem Waſſeratome die Elemente gerade deshalb ſo feſt zuſammengehalten werden, weil Sauerſtoff und Waſſerſtoff, in Berührung gebracht, entgegengeſetzt elektriſch werden, und weil dieſe entgegengeſetzten Elektricitäten der Waſſerelemente ſich gegenſeitig binden. Indem ein Waſſerſtoffatom von ſeinem Sauerſtoffe getrennt wird, ſo wird auch alle ſeine gebundene Elektricität frei, ſie wird aber, wenn der Waſſerſtoff ſich dagegen auf der andern Seite wieder mit einem andern Sauerſtofftheilchen verbindet, ſogleich wieder gebunden, und ſo führt jedes Waſſerſtoffatom ſeine gebundene poſitive Elektricität fort, und an dem negativen Pole wird mit dem Waſſerſtoffe zugleich auch ſeine poſitive Elektricität frei.

Während gewöhnliches käufliches Zink, in verdünnte Schwefelſäure getaucht, raſch aufgelöſ't wird, bleibt chemiſch reines Zink oder amalgamirtes Zink in derſelben Flüſſigkeit unangegriffen. Conſtruirt man nun eine galvaniſche Kette mit chemiſch reinen oder mit amalgamirten Zinkplatten, ſo kann begreiflicher Weiſe in einer ſolchen Kette keine Waſſerzerſetzung ſtattfinden, ſo lange ſie nicht geſchloſſen iſt. Wird aber die Kette geſchloſſen, ſo beginnt augenblicklich die Waſſerzerſetzung in jeder Zelle, es wird jedoch nur gerade ſo viel Waſſer zerſetzt und Zink aufgelöſ't, als zur Leitung des circulirenden Stromes nöthig iſt; die Menge des aufgelöſ'ten Zinks muß alſo in einem ganz beſtimmten Verhältniſſe zu dieſem Strome ſtehen. Faraday wandte den Strom einer ſolchen Kette zur Waſſerzerſetzung an und beſtimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand ſich nun, daß für jedes Gewichtstheil Waſſerſtoffgas, welches zwiſchen den Pöldrähten oder vielmehr den Polplatten frei wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöſ't worden waren. Nun aber verhalten ſich die Gewichte der chemiſchen Aequivalente von Waſſerſtoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,23 oder

wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Zelle der Kette 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

Wenn derselbe Strom durch 4 Zerlegungszellen geleitet wird, von denen die 1ste Wasser, die 2te Chlorsilber, die 3te Chlorblei, die 4te Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den 4 negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen, daß die chemischen Aequivalente diejenigen relativen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche, in Berührung mit einem und demselben Elemente, eine gleich starke elektrische Polarität annehmen.

Theorie der constanten Ketten. Die gewöhnlichen Volta'schen 70
Ketten, in welchen nur eine Flüssigkeit angewandt wird, geben, wie schon bemerkt wurde, im ersten Augenblicke einen ungemein kräftigen Strom, der aber sehr rasch abnimmt, während in den Becquerel'schen Ketten, dem Daniel'schen, dem Grove'schen und Bunsen'schen Apparate der Strom mit unveränderter Stärke fortdauert. Jetzt, wo wir die chemischen Erscheinungen in der Kette kennen gelernt haben, können wir uns auch davon Rechenschaft geben, warum in diesen Apparaten der Strom constant bleibt, in jenen aber so rasch abnimmt.

In ein Gefäß, Fig. 150, welches mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt ist, werde eine Zink- und eine Kupferplatte eingetaucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind. Auch hier wird anfangs ein ziemlich kräftiger Strom entstehen, der bald abnimmt und endlich ganz aufhört. Der Grund dieses Aufhörens ergiebt sich bald, wenn man den Vorgang der Zersetzung betrachtet; das Zinkoxyd der Lösung wird nämlich zersetzt, der Sauerstoff geht an die Zinkplatte, um neues Oxyd zu bilden, während auf der andern Seite sich metallisches Zink auf der Kupferplatte absetzt; nach einiger Zeit hat sich die Kupferplatte ganz mit Zink überzogen, und nun hört der Strom begreiflicher Weise ganz auf. Das Kupfer ist jetzt gar nicht mehr mit der Flüssigkeit in Berührung, Zink aber befindet sich auf beiden Seiten des Kupfers und auf beiden Seiten der Flüssigkeit; das Kupfer wird da, wo es an die Zinkplatte angelöthet ist, negativ

Fig. 150.

erregt, dieſe Erregung aber kann keinen Strom veranlaſſen, weil der neu entſtandene Zinküberzug einen ganz gleichen entgegengeſetzten Strom erregt.

Nehmen wir nun verdünnte Schwefelſäure ſtatt der Löſung des Zinkoxyds, ſo wird das Waſſer der ſich zwiſchen der Zink- und Kupferplatte befindlichen Flüſſigkeit zerſetzt; ſtatt daß ſich im vorigen Falle Zink an der Kupferplatte abſetzte, wird nun hier Waſſerſtoffgas frei, die Kupferplatte überzieht ſich mit einer Schicht von Waſſerſtoff, welcher aber mit dem Kupfer nicht in ſo innige Berührung kommt wie im vorigen Falle, und alſo auch die Flüſſigkeit nicht ſo vollſtändig von der Berührung mit der Kupferplatte abhalten kann, wie es dort der Fall war. Ein gänzliches Aufhören des Stromes iſt alſo hier nicht möglich, dennoch aber veranlaßt dieſe Abſcheidung des Waſſerſtoffes, welcher nach Buff's Verſuchen (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLI. S. 137) in der Spannungsreihe noch unter dem Zinke ſteht, in ganz ähnlicher Weiſe eine Schwächung des Stromes, wie es dort die Ablagerung des Zinks gethan hatte.

Iſt ſomit die Urſache richtig erkannt, welche die Schwächung des Stromes in gewöhnlichen Ketten veranlaßt, ſo ergiebt ſich leicht, wie eine ſolche Schwächung vermieden werden kann; man hat nämlich nur eine Vorrichtung zu treffen, durch welche die Abſcheidung des Waſſerſtoffs an den Kupfer- oder Platinplatten verhindert wird, ſo daß dieſe Platten ſtets in derſelben Weiſe mit der Flüſſigkeit in Berührung bleiben.

In der Becquerel'ſchen und Daniel'ſchen Kette ſetzt ſich nicht Waſſerſtoff, ſondern metalliſches Kupfer an die Kupferplatte an, und ſomit bleibt ſtets eine reine Kupferoberfläche mit der Flüſſigkeit in Berührung. In der Grove'ſchen Batterie aber iſt das Platin, in der Bunſen'ſchen die Kohle von einer Schicht von Salpeterſäure umgeben, dieſe Salpeterſäure aber verhindert die Abſcheidung des Waſſerſtoffs am Platin oder der Kohle, denn die ausgeſchiedenen Waſſerſtofftheilchen werden im Momente ihres Entſtehens auch ſogleich wieder oxydirt, indem ſich ſalpetrige Säure bildet.

71 Es iſt wohl hier der paſſendſte Ort, Einiges über die verſchiedenen Theorien zu ſagen, welche man zur Erklärung der elektriſchen Erſcheinungen der Säule aufgeſtellt hat, da dieſe Theorien gerade jetzt den Gegenſtand lebhafter Erörterungen zwiſchen den verſchiedenen Gelehrten bilden.

Die älteſte Theorie iſt die von Volta aufgeſtellte Contacttheorie, nach welcher die Berührung verſchiedenartiger Metalle die einzige Quelle der Elektricität der Säule iſt. Volta hatte vorzugsweiſe die Spannungswirkungen der Säule ſtudirt, und dieſe finden auch durch ſeine Theorie die befriedigendſte Erklärung. Die chemiſchen Erſcheinungen ließ er unberückſichtigt, ohne Zweifel, weil er ſie entweder gar nicht oder doch nur höchſt *unvollſtändig* kannte; daher kam es auch, daß er die Rolle, welche die

Flüssigkeiten in der Kette spielen, nicht gehörig würdigte, daß er sie einfach nur als Leiter und nicht zugleich auch als Elektromotoren betrachtete.

Nachdem nun die chemischen Wirkungen der Säule bekannt und genauer untersucht worden waren, konnte die Volta'sche Contacttheorie nicht mehr genügen, sie mußte also entweder berichtigt und erweitert werden, um auch die neu entdeckten Thatsachen zu umfassen, oder man mußte sie ganz verlassen und eine ganz neue Hypothese aufstellen. Beide Wege sind verfolgt worden, und zwar beide von ausgezeichneten Physikern. Als Anhänger der mehr oder minder modificirten Contacttheorie sind besonders Pfaff, Fechner, Poggendorff und Buff zu nennen.

Die Gegner der Contacttheorie betrachten die chemische Wirkung, welche die Flüssigkeit auf die Metalle ausübt, als die Quelle des elektrischen Stromes der Kette; Anhänger dieser Meinung sind besonders Fabroni, Parrot, Wollaston, Faraday und De la Rive; doch weichen die Ansichten dieser Gelehrten unter sich wieder in manchen Punkten ab.

Durch seine theoretischen Ansichten wurde Faraday auch veranlaßt, eine neue Nomenclatur einzuführen; so nannte er die Pole »Elektroden«, Wege, auf welchen der elektrische Strom in die zu zerlegende Flüssigkeit eintritt, und zwar nannte er den positiven Pol Anode, den negativen Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyts heißen nach Faraday »Jonen«, und zwar ist das Kation dasjenige Element, welches an der Kathode, Anion dagegen dasjenige, welches an der Anode ausgeschieden wird.

Es kann nicht überraschend erscheinen, daß eine solche Meinungsverschiedenheit über die Quelle der Elektricität der Kette herrscht, wenn man bedenkt, wie wenig uns von dem eigentlichen Wesen der Elektricität bekannt ist. Wissen wir doch auch über die Entstehung der Elektricität durch Reibung kaum etwas mehr als die einfache Thatsache! Daß in Beziehung auf den Galvanismus eine Meinungsverschiedenheit entstehen konnte, liegt offenbar darin, daß Volta den Einfluß des Chemismus übersehen hatte. Dieser Mangel oder vielmehr diese Einseitigkeit konnte nicht lange unbemerkt bleiben; indem aber viele Gelehrte sich bemühten, die Wichtigkeit dieses Einflusses nachzuweisen, verfielen sie zum Theil in das entgegengesetzte Extrem, sie schrieben dem Chemismus Alles zu, sie berücksichtigten die wohlerwiesenen Thatsachen, welche die Basis der Contacttheorie ausmachen, gar nicht mehr, ja einige ließen sich sogar verleiten, die Volta'schen Fundamentalversuche in Zweifel zu ziehen oder, um sie zu erklären, die Oxydirbarkeit der edlen Metalle zu Hülfe zu nehmen.

Die Anhänger der beiden Ansichten waren eifrigst bemüht, Beweise für die Richtigkeit ihrer Meinung beizubringen, und diesen Bemühungen verdanken wir großentheils die *vielfachen* Erweiterungen, welche die Lehr

vom Galvanismus erfahren hat. Vor Allen gebührt Fechner das Verdienſt, daß er die Richtigkeit der Volta'ſchen Fundamentalverſuche über jeden Zweifel erhoben und die Anſichten über die Elektricitätserregung verſchiedener Metalle berichtigt hat. Faraday dagegen hat nachgewieſen, daß galvaniſche Ströme auch ohne Berührung heterogener Metalle entſtehen können, daß die chemiſche Zerſetzung der Flüſſigkeit der Säule der Quantität des elektriſchen Stromes proportional iſt, daß alſo dieſe Zerſetzung im innigſten Zuſammenhange mit der Bildung des Stromes in der hydro-elektriſchen Kette ſtehe.

Da nun aber eine Theorie des Galvanismus wo möglich alle Erſcheinungen der Kette umfaſſen muß, ſo möchte die Wahrheit wohl ſchwerlich bei den Extremen der beiden Parteien zu ſuchen ſeyn. Am beſten möchte wohl für den jetzigen Standpunkt der Wiſſenſchaft eine modificirte Contacttheorie paſſen, wie ſie oben vorgetragen wurde; denn auf dieſe Weiſe laſſen ſich die verſchiedenen Erſcheinungen der Kette am beſten unter einem gemeinſamen Geſichtspunkte zuſammenfaſſen.

Wenn man die Anſichten der ausgezeichnetſten Gelehrten über dieſe Frage recht genau mit einander vergleicht, ſo ergiebt ſich auch bald, daß ſie keineswegs ſo ganz und gar einander entgegengeſetzt ſind, als manche glauben, wie dies Buff in einem bei Gelegenheit der Naturforſcherverſammlung zu Mainz gehaltenen Vortrage dargethan hat. Möge es erlaubt ſeyn, den Schluß dieſes unter dem Titel: »Der Zuſammenhang der neueren Elektricitätslehre mit der Contacttheorie« gedruckten Vortrags hier wörtlich anzuführen.

»Man iſt gewöhnt, die Contacttheorie und die chemiſch elektriſche Theorie als zwei einander entgegengeſetzte Hypotheſen zu betrachten, in der Weiſe, daß wer die eine für richtig erkläre, die andere nothwendig für falſch halten müſſe. Man pflegt von den Anhängern der einen und der andern Anſicht wie von entſchieden wiſſenſchaftlichen Gegnern zu ſprechen.

»Dieſe Vorſtellung iſt jedenfalls nicht in dem Weſen beider Theorien begründet.

»Die Grundlage der chemiſch-elektriſchen Theorie, und ich verſtehe hierunter hauptſächlich die neuere, von den engliſchen Naturforſchern ausgebildete Hypotheſe, bildet bekanntlich die Annahme, daß Chemismus und Elektricität nur verſchiedene Aeußerungen derſelben Urſache, wo nicht ganz und gar identiſch ſeyen; daß die gegenſeitigen Verwandtſchaften zweier Elemente, die eine chemiſche Verbindung eingehen können, ein ähnlicher polarer Gegenſatz ſeyen, wie die poſitive und negative Elektricität; und daß daher beide Gegenſätze, wenn ſie gleichgerichtet ſind, einander unterſtützen, oder, wenn ihre Richtungen entgegengeſetzt ſind, einander ganz oder theilweiſe aufheben können.

»Die beginnende Zersetzung einer flüssigen Verbindung ist nach dieser Hypothese eine Quelle der Elektricität. Der elektrische Strom ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung.

»Jedoch schon das bloße Streben eines Metalles, eine flüssige Verbindung zu ersetzen, wodurch den Bestandtheilen derselben, bereits vor dem wirklichen Eintritte der Zersetzung, eine bestimmte Richtung ertheilt wird, veranlaßt die Entstehung eines elektrischen Stromes; freilich eines Stromes von geringer Stärke, der überdies, indem er nur die Folge ist einer veränderten Anordnung in der Lage der Partikeln, aufhören muß, so wie diese Anordnung bewerkstelligt ist. Ein dauernder Strom ist also ohne Zersetzung unmöglich.

»Dies sind die Hauptgrundzüge der chemisch-elektrischen Theorie, als deren Schöpfer man Faraday betrachten muß.

»Das Verhalten der nicht activen Volta'schen Paare und der elektrischen Säule, die Spannungswirkungen werden in dieser Theorie gar nicht, oder doch nur höchst dürftig berücksichtigt.

»Es kann gegenwärtig nicht mehr bezweifelt werden, daß die Fortdauer hydro-elektrischer Ströme geknüpft ist an die elektrisch-chemische Zersetzung der Flüssigkeit; diese Frage ist entschieden, seitdem man weiß, daß die Größe der Zersetzung ein Maaß ist für die Quantität fortdauernder Ströme. Die chemische Zersetzung kann gleichwohl nicht der letzte Grund des Stromes seyn, weil ja der Zersetzung selbst eine Ursache vorhergehen muß, eine Kraft, wodurch sie eingeleitet wird. Eine solche Ursache kann aber die Anziehung seyn, welche die Metallplatte auf den einen der Bestandtheile der Flüssigkeit ausübt; eine Action, wodurch, wie sich Faraday ausdrückt, den Atomen der Flüssigkeit Richtung verliehen und wodurch allein schon ein freilich nur vorübergehender Strom bewirkt wird.

»Der Gründer der neueren chemisch-elektrischen Theorie nennt diese Action eine chemische; aber er sagt auch, daß chemische und elektrische Anziehung gleichbedeutend oder doch so nahe verwandt sind, daß sie sich wechselseitig unterstützen und aufheben können.

»Volta selbst, wäre er mit den neueren Forschungen bekannt gewesen, würde nie den Einfluß geläugnet haben, welchen die gegenseitige chemische Action des Zinks und des Sauerstoffs des Wassers auf Richtung und Größe des Stromes äußern. Dieser Einfluß ist eine wohlerwiesene Thatsache, aber eine Thatsache, die sich ganz gut verträgt mit der eben so unläugbaren Erscheinung, daß das Streben des Zinks, Zersetzung zu bewirken, von einer elektrischen Differenz an der Contactstelle begleitet ist, daß diese Differenz gesteigert werden kann durch die aus dem Contacte des Zinks mit Platin resultirende und gleichgerichtete elektrische Differenz, und daß mit dieser vermehrten elektrischen Anziehung zu-

gleich auch das Streben der Metalle, die Flüſſigkeit zu zerſetzen, verſtärkt wird.

»Nach der chemiſch-elektriſchen Theorie iſt der Strom ein Zuſtand des geſtörten chemiſchen Gleichgewichts, nach der Contacttheorie dagegen ein Zuſtand des geſtörten elektriſchen Gleichgewichtes. Und hierin liegt in der That der einzige weſentliche Unterſchied beider Theorien, der alſo nur auf eine Verſchiedenheit in der Form des Ausdrucks hinausläuft. Dieſe Verſchiedenheit iſt gleichwohl nicht unbedeutend, ſie gewährt der Contacttheorie den Vorzug, die ſtatiſchen, wie die Bewegungsphänomene der Hydrokette mit gleicher Leichtigkeit zu umfaſſen.«

72 **Magnetiſche Wirkungen des galvaniſchen Stromes.** Schon lange wußte man, daß unter Umſtänden kräftige elektriſche Ladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenſchaft verloren, den Weg des Fahrzeugs zu bezeichnen; mehrere Phyſiker, unter denen Franklin, Beccaria, Wilſon und Cavallo zu nennen ſind, verſuchten ſolche Erſcheinungen durch die Entladung von Leidner Flaſchen hervorzubringen, und in der That war es ihnen auch gelungen, den magnetiſchen Zuſtand ſehr kleiner Nadeln zu verändern, entweder indem ſie den Funken in der Nähe der Nadel überſchlagen, oder indem ſie den Entladungsſchlag durch die Nadel ſelbſt gehen ließen. Alle dieſe Verſuche aber gaben keine regelmäßigen Reſultate, und man begnügte ſich mit der Annahme, der elektriſche Schlag wirke auf die Magnetnadel ungefähr ſo wie der Schlag eines Hammers. Später machte man neue Verſuche mit der galvaniſchen Elektricität, welche eben ſo wenig zu einem Reſultate führten. Im Jahre 1820 endlich fand Oerſted, Profeſſor in Kopenhagen, ein Mittel, die Elektricität ſicher und beſtändig auf einen Magneten einwirken zu laſſen. Er eröffnete dadurch den Gelehrten aller Länder ein neues weites Feld der Forſchung, und nie vielleicht ſah man in kurzer Zeit die Wiſſenſchaft mit ſo viel neuen Wahrheiten bereichert.

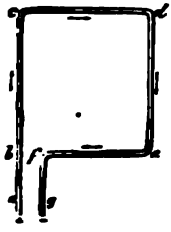
Damit die Elektricität auf den Magnetismus wirke, muß ſie im Zuſtande der Bewegung ſeyn. Die ruhende Elektricität im Zuſtande ſtarker Spannung wirkt nicht auf den Magneten, wohl aber ein continuirlicher elektriſcher Strom.

In der That, wenn man dem Schließungsdrahte einer Säule, während der elektriſche Strom hindurchgeht, eine frei aufgehängte Magnetnadel nähert, ſo wird ſie abgelenkt. Dies war der erſte Verſuch Oerſted's, und es iſt in der That zu bewundern, daß bei den vielen Verſuchen, die man mit der Säule anſtellte, nicht ſchon längſt zufällig eine Beobachtung dieſer Art gemacht worden war.

Den Fundamentalverſuch über die Einwirkung eines galvaniſchen

Stroms auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein etwas starker Kupferdraht wird so gebögen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seite etwa 8 bis 10 Zoll lang seyn kann; die beiden Enden des Drahtes *a b* und *f g*, Fig. 151, tauche man nun in die Queckſilbernäpfchen einer galvaniſchen Batterie von großer Oberfläche, etwa in die Näpfchen des Apparates Fig. 139, oder verbinde ſie mit den Polen des Bunſen'ſchen Apparates, und befeſtige ſie auf irgend eine Art ſo, daß die Ebene des Quadrats in die Ebene des magnetiſchen Meridians fällt. Nehmen wir an, das Drahtende *a b* ſey in das poſitive Queckſilbernäpfchen getaucht, ſo circulirt der Strom in der Weiſe, wie es die Pfeile andeuten. Von *b* bis *c* ſteigt er auf, von *c* bis *d* läuft er horizontal in der Richtung von Süden nach Norden im magnetiſchen Meridian fort, von *d* bis *e* ſteigt er nieder und bewegt ſich endlich wieder in horizontaler Linie von Norden nach Süden in dem Drahtſtücke *e f*.

Fig. 151.



Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtſtück *c d*, ſo würde ſie, wenn keine Einwirkung des Stroms auf die Nadel ſtattfände, mit dem Drahte *c d* parallel bleiben, der Strom aber lenkt die Nadel ab und zwar ſo, daß der Südpol (d. h. der nach Norden gerichtete) öſtlich vom magnetiſchen Meridian zu liegen kommt. Hält man aber die Nadel unter das Drahtſtück *c d*, ſo wird das nach Norden gekehrte Ende der Nadel nach Weſten abgelenkt.

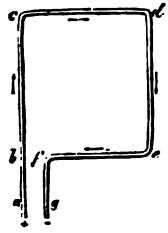
Am Drahtſtücke *e f*, in welchem ſich der Strom in einer Richtung bewegt, welche mit der des Stroms in *c d* parallel aber entgegengeſetzt iſt, findet die umgekehrte Wirkung Statt; wenn die Nadel nämlich gerade über *e f* gehalten wird, findet eine weſtliche, wenn ſie darunter gehalten wird, eine öſtliche Ablenkung der Nadel Statt.

In den erſten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwiſchen der Richtung des Stroms und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; dieſe Schwierigkeiten hat Ampère auf eine recht ſinnreiche Weiſe gelöſ't; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu beſtimmen. Man denke ſich in den Draht eine kleine menſchliche Figur ſo eingeſchaltet, daß der poſitive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun dieſe Figur ihr Geſicht der Nadel zukehrt, ſo iſt der Südpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

In dem Drahtſtücke *c d* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Norden, die Füße nach Süden gekehrt. Wird die Nadel über den Draht gehalten, ſo muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Geſicht der Nadel zugekehrt ſeyn ſoll, bei dieſer Lage der Figur iſt ihre linke

Seite die östliche. Wird die Nadel unter den Draht gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die westliche.

Fig. 152.



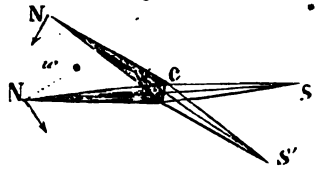
Für das Drahtstück $e f$ sind die Füße der Figur nach Norden, der Kopf nach Süden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die westliche, wenn sie auf dem Leibe liegt, die östliche.

Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertikal gerichtete Strom in $b c$ und $d e$ wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertikal stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muß sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe vertikale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder andern Seite des Drahtes befindet. In Fig. 153 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar,

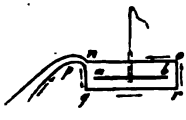
Fig. 153.



N sey das Nordende der Nadel, w sey ein vertikaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen: Befände sich aber die Nadel in $N' S'$, so würde die Nadel offenbar von dem Drahte angezogen.

Der Multiplicator oder das Galvanometer. Kurz nachdem 73
Oerſted ſeine wichtige Entdeckung gemacht hatte, conſtruirte Schweigger ſeinen Multiplicator, welcher zum Zwecke hat, die elektromagnetiſche Wirkung des Stromes zu verſtärken. Dieſes Inſtrument iſt wirklich ſo empfindlich, daß es dienen kann, um die ſchwächſten elektriſchen Ströme zu entdecken. In der That wirken alle Theile des Stromes, welcher in der Richtung der Pfeile das längliche Rechteck *pqron*, Fig. 154, durchläuft, auf dieſelbe Weiſe auf die Nadel *ab*, welche in horizontaler Ebene drehbar iſt. Wenn *a* das Südende, *b* das Nordende iſt, ſo hat der Strom an allen Punkten ein Beſtreben, die Nadel ſo zu drehen, daß *b* vor die Ebene der Figur hervor-, *a* aber zurücktritt. Das untere Drahtſtück unterſtützt alſo die Wirkung des oberen, ebenſo wie der Strom in den Stücken *pq* und *ro*. Ein zweiter Strom von derſelben Stärke, der ſich in derſelben Richtung um die Nadel bewegt, wird eine eben ſo große Wirkung hervorbringen, wie der erſte, ebenſo ein dritter, vierter u. ſ. w. Ein Draht alſo, wenn er in 100 Windungen um die Nadel herumgeht, die alle von demſelben Strome durchlaufen werden, muß eine 100fach größere Wirkung hervorbringen, als eine einzige Windung; der Strom darf ſich jedoch nicht ſeitwärts von einer Windung zur andern fortpflanzen, ſondern er muß den ganzen Draht der Länge nach durchlaufen, ſo daß er wirklich wiederholt um die Nadel herumgeführt wird. Um dies zu erreichen, nimmt man einen Kupferdraht von 15 bis 20 Meter Länge, der mit Seide dicht überſponnen iſt; dieſer Draht wird dann auf einen rechtwinkligen Rahmen von Holz oder Metall aufgewunden. Die beiden Enden des Multiplicatordrahtes bleiben frei, damit man ſie mit den Polen der galvaniſchen Kette in Verbindung bringen kann. Die Nadel wird an einem Coconfaden aufgehängt und der ganze Apparat durch eine Glasglocke vor dem Luftzuge geſchützt. Wenn man einen Verſuch machen will, ſo richtet man den Rahmen ſo, daß die Ebene der Windungen mit dem magnetiſchen Meridian zuſammenfällt, die Nadel befindet ſich dann ebenfalls in der Ebene der Windungen, ſo lange kein Strom hindurchgeht; ſobald dies aber der Fall iſt, wird die Nadel um ſo mehr abgelenkt, je ſtärker der Strom iſt.

Fig. 154.



Dieſer Multiplicator iſt ſchon ſehr empfindlich, Nobili aber hat ihn noch ungleich empfindlicher gemacht, indem er ſtatt einer Nadel ein Syſtem von zweien anwandte, deren Pole entgegengeſetzt gerichtet ſind, wie man dies Fig. 155 und deutlicher Fig. 156 (ſ. folgd. S.) ſieht. Bei einem ſolchen Syſtem von zwei Nadeln iſt die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn ſie iſt nur die Differenz der

Kräfte, mit welcher der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten ſtrebt. Wären beide Nadeln abſolut gleich und vollkommen gleich ſtark magnetiſirt, ſo würde die richtende Kraft, welche die Erde auf das Syſtem ausübt, gleich Null ſeyn.

Fig. 155.

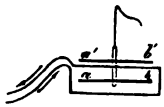
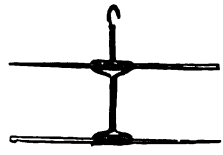


Fig. 156.



Die eine der Nadeln hängt nun innerhalb, die andere über den Windungen, beide werden alſo durch den Strom nach derſelben Seite gedreht. Ein ſolcher Apparat iſt ungemein empfindlich.

Um die Nadeln auf eine feſte Weiſe zu verbinden, ſteckt man entweder beide durch einen recht geraden Strohhalm oder man befeſtigt ſie an einem ganz dünnen Drahte, wie Fig. 156 zeigt.

Die obere Nadel bewegt ſich über einem in 360 Grad getheilten Kreiſe. Die Linie, welche 0 und 180° verbindet, wird in den magnetiſchen Meridian eingeſtellt; wenn nun kein Strom durch die Windungen hindurchgeht, ſo zeigt die Nadel auf 0°. Mit wachſender Stromſtärke wird die Ablenkung der Nadel bedeutender, jedoch iſt die Stromſtärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional.

Fig. 157.

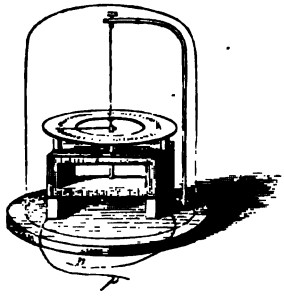


Fig. 158.

Die Richtung der Abweichung der Nadel beſtimmt die Richtung des Stromes.

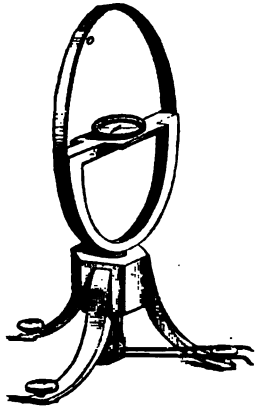
Fig. 157 zeigt ein vollſtändiges Galvanometer, und Fig. 158 zeigt den Rahmen mit den Drahtwindungen von oben geſehen.

Der Ausſchlagswinkel wird bei dieſen Inſtrumenten natürlich um ſo größer, je ſtärker der Strom iſt, doch iſt das Verhältniß zwiſchen dem Ausſchlagswinkel und der Stromſtärke ein ſehr complicirtes, welches nicht aus theoretiſchen Betrachtungen, ſondern nur durch Verſuche ermittelt werden kann. Namentlich hat Poggendorff ein ſehr ſinnreiches Verfahren angegeben, um das Galvanometer zu genaueren Meſſungen anwendbar zu machen, doch können wir hier nicht weiter ins Detail eingehen.

74 **Die Tangenten- und die Sinusbouſſole.** Wenn man es mit ſtärkeren Strömen zu thun hat, ſo iſt es nicht nöthig, eine aſtatiſche Nadel anzu-

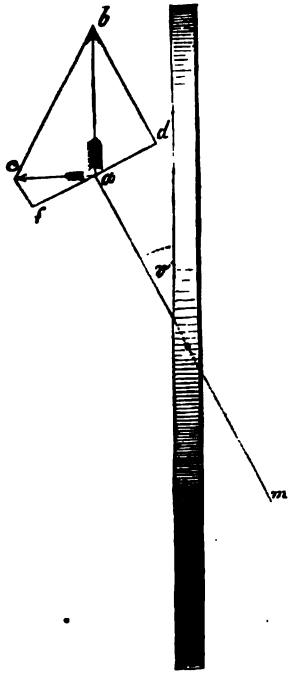
nden und so viele Drahtwindungen so nahe um die Nadel herumzuführ-
; dadurch aber ist es möglich, Instrumente zu construiren, bei welchen

Fig. 159.



der Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältniß zu der Stromstärke steht. Fig. 159 stellt einen Apparat dar, in welchem der Strom durch einen kreisförmigen Kupferstreifen um die Nadel herumgeleitet wird, welche sich in der Mitte dieses Kreises befindet und sehr klein gegen seinen Durchmesser ist. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir untersuchen, welche Beziehung zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel besteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt.

Fig. 160.



In Fig. 160 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, am die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also diese Zunahme der Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an, die magnetische Erdkraft ab, in der Richtung des Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab

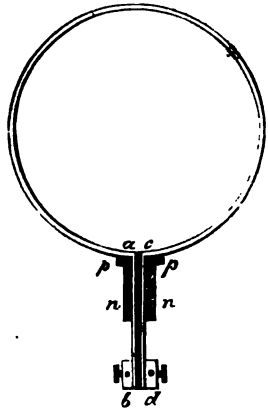
und ac ſind nun ad und af, die Nadel wird in Ruhe ſeyn, wenn $ad = af$. Nun iſt Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetiſchen Meridian, af auf die Nadel rechtwinklig ſteht, folglich iſt $af = ac \,.\, cos.v$. Ferner iſt auch Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetiſchen Meridian und bd mit der Nadel parallel iſt, und demnach iſt $ad = ab \,.\, sin.\, v$; da aber $ad = af$, ſo iſt alſo auch $ac \,.\, cos.\, v = ab \,.\, sin.\, v$ oder $ac = ab \,.\, tang.\, v$, oder endlich

$$S = R.\ tang.\ v,$$

wenn man mit S die Stromkraft ac. mit R die magnetiſche Erdkraft ab bezeichnet. Bei dieſem Inſtrumente iſt alſo die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher der Name Tangentenbouſſole.

Die Einrichtung der Tangentenbouſſole iſt aus Fig. 161 deutlicher zu erſehen. Die beiden Enden ab und cd des ringförmig gebogenen Kupferſtreifens laufen parallel neben einander her und ſind durch einen iſolirenden Streifen von Elfenbein oder trocknem Holze getrennt. Bei b und bei d iſt ein Meſſingſtück angeſetzt, in welches man die von den beiden Polen der Kette kommenden Leitungsdrähte einſchraubt. Wenn der poſitive Strom bei b eintritt, ſo geht er von b nach a, von da im Ring herum nach c, von c nach d, um von da zum negativen Pol der Kette zu gehen.

Fig. 161.



Dicht unter ac gehen die parallelen Kupferſtreifen ſammt dem ſie trennenden Holzſtreifen durch einen Holzcylinder nn hindurch, in dem ſie ganz feſtſtecken, und welcher oben mit einer etwas breiteren Platte pp endigt. Dieſer Holzcylinder nn paßt genau in eine Höhlung des Statifs, die Platte p verhindert ein zu tiefes Einſinken in dieſe Höhlung. Der Holzcylinder nn läßt ſich nun ſammt dem Kupferring mit ſanfter Reibung um ſeine vertikale Axe umdrehen, wodurch es leicht wird, den Ring genau ſo zu richten, daß ſeine Ebene in den magnetiſchen Meridian fällt.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang ſeyn und der Durchmeſſer des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchſtens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmeſſers betragen; je kleiner ſie im Vergleich zu dieſem iſt, deſto genauer iſt die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner

aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung ablies't, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an die Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so daß sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen, und bis zu der Theilung hinreichen. Am leichtesten läßt sich dies machen, wenn der Querschnitt der Nadel die Gestalt Fig. 162 hat, so daß man die Glasfäden in der Rinne auf der oberen Seite der Nadel einlegen und ankitten kann.

Fig. 162.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, daß der Boden der Bousole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in die zum Ablesen richtige Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt.

Die Fig. 163 stellt eine Sinusbousole dar. Die Magnetnadel befindet sich in der Mitte eines horizontalen getheilten Kreises, der um eine vertikale Axe drehbar ist. Um diesen Kreis ist der Multiplicatordraht gewunden. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene der Drahtwindungen in den magnetischen Meridian fällt, und in diesem Falle steht der Index des horizontalen Kreises, auf welchem die Drehung des vertikalen Kreises abgelesen wird, auf Null. Wenn nun ein Strom durch die Windungen geht, wird die Nadel abgelenkt, der vertikale Kreis mit den Windungen wird aber nun auch in der Richtung dieser Ablenkung so weit gedreht, bis die Nadel wieder in der Ebene der Windungen liegt, und dann die Größe der Ablenkung an dem unteren horizontalen Kreise abgelesen.

Fig. 163.

Gesetzt, man habe mit dem Strome einer hydro-elektrischen Kette eine Ablenkung von 30° erhalten, mit einer andern nur 20°, so ist es leicht, das Verhältniß der Stärke beider Ströme zu berechnen; denn da in beiden Fällen der Strom ganz gleiche Lage gegen die Nadel hat, so verhalten sich die Stromstärken offenbar wie die Kräfte, die in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Diese Kraft ist aber im ersten Falle *R. sin.* 30°, im zweiten *R. sin.* 20°, die Strom-

ſtärken verhalten ſich alſo wie die Sinus der Ablenkungswinkel, daher auch der Name Sinusbouſſole.

Es iſt klar, daß die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluß auf die Größe der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel ſtärker magnetiſch wäre, ſo würde die Einwirkung des Stromes und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniß zunehmen.

Für den Fig. 163 abgebildeten Apparat beträgt der Durchmeſſer des vertikalen Kreiſes 22 Centimeter. Man kann, je nachdem es die Umſtände erfordern, eine oder mehrere Windungen des Drahtes um den vertikalen Kreis herum legen.

Poggendorff hat die Sinusbouſſole weſentlich verbeſſert, namentlich dadurch, daß er die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt hat.

Auch an Multiplicatoren von der in Fig. 157 dargeſtellten Art hat man die Einrichtung angebracht, daß man die Drahtwindungen um eine vertikale Axe umdrehen kann, ſo daß es möglich iſt, ſie ſtets mit der Nadel parallel zu ſtellen.

Nachdem wir die Mittel kennen gelernt haben, die Stromſtärke zu meſſen, wollen wir die Geſetze derſelben näher betrachten.

75 **Kraft der galvaniſchen Kette.** Das Agens, welches in den Phänomenen des Galvanismus wirkt, iſt durchaus nichts anderes als die Elektricität, welche uns auch die Elektriſirmaſchine und das Elektrophor liefert; nur iſt hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserſcheinungen, dort die Phänomene des Drucks; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Ein Bild kann vielleicht das wahre Sachverhältniß recht klar machen. Wir können die Elektriſirmaſchine einer Quelle vergleichen, welche nur ſpärlich Waſſer giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Waſſer in einer engen Röhrenleitung ſammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verſchloſſen iſt. Die Wände dieſer Röhrenleitung haben natürlich einen ſtarken Druck auszuhalten, namentlich am unteren Ende, obgleich die Waſſermaſſe in der Röhrenleitung ſo groß nicht iſt. Am unteren Ende der Röhrenleitung befinde ſich nun eine Oeffnung, die durch ein Ventil verſchloſſen iſt, welches durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt iſt, wodurch ſie verſchloſſen gehalten wird. Je mehr aber die Waſſerſäule in der Röhre ſteigt, deſto ſtärker wird der Druck; endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerſtand zu leiſten, das Ventil wird geöffnet und mit Gewalt ſtrömt das Waſſer hervor; dabei aber ſinkt raſch das Niveau in der Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und ſchließt die Oeffnung. Allmälig füllt ſich die Röhre wieder und nach einiger Zeit iſt das Waſſer wieder ſo hoch geſtiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektriſirmaſchine iſt der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, ſo wird hier die größte Anhäufung von Elektricität ſtattfinden; ſie hat ein Beſtreben, auf den Finger überzuſpringen, allein die Luftſchicht, welche ſich zwiſchen dem Conductor und der Hand befindet, hindert dieſen Uebergang, ſie repräſentirt das Gewicht, welches das Ventil geſchloſſen hält. Erſt wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewiſſen Grade angehäuft iſt, wird der Widerſtand überwunden, die Luftſchicht durchbrochen, der Conductor wird theilweiſe entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, ſo wird der Widerſtand, welcher ſich dem Uebergange der Elektricität entgegenſetzt, geringer, was einer Verringerung des Druckes entſpricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geſchloſſen hält.

Hätte man die Oeffnung am unteren Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geſchloſſen, ſo würde das Waſſer in dem Maaße ausgefloſſen ſeyn, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Waſſers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Waſſer giebt, ſo wird es auch nur ſpärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Waſſer, welches, in der Röhre angehäuft, ſo ungeheuern Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechaniſchen Effect hervorbringen können.

Dieſem freien Abfließen des Waſſers einer armen Quelle entſpricht der Fall, daß man den Conductor der Maſchine mit dem Boden oder dem Reibzeug in leitende Verbindung ſetzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf den Conductor hört auf; der dünnſte Draht iſt ſchon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollſtändig abzuleiten, und dieſe frei abſtrömende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvaniſchen Apparaten beobachten.

Die galvaniſchen Apparate gleichen einer ſehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Waſſer in weiten Röhren frei abfließt. Die große Maſſe des ſtrömenden Waſſers übt nur einen geringen Druck auf die Röhrenwände aus, aber ſie iſt im Stande, mechaniſche Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. ſ. w.

Wenn man eine große Leidner Flaſche durch einen dünnen Draht entladet, ſo wird dieſer, wie wir geſehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung iſt aber nur momentan; in einem Augenblick geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maſchine in der Flaſche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es ſich, wenn

man die beiden Pole eines großplattigen galvaniſchen Apparats durch einen dünnen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, ſelbſt wenn er bei weitem dicker iſt, als der Draht, den man durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche in's Glühen bringt; das Glühen iſt aber hier nicht momentan, es dauert fort, ſo lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblicke liefert alſo der galvaniſche Apparat ungleich mehr Elektricität, als man durch längeres Drehen der Maſchine in der Flaſche anhäufen konnte.

Unterſuchen wir nun, von welchen Umſtänden die Quantität der Elektricität abhängt, welche ein galvaniſcher Apparat zu liefern im Stande iſt.

Wenn zwei Metalle ſich nur in wenigen Punkten berühren, ſo hat man ſchon eine reiche Quelle von Elektricität. Wir haben aber geſehen, daß man keinen galvaniſchen Apparat ohne ſolche Körper bilden kann, die nicht in die Spannungsreihe gehören. Die galvaniſchen Ketten ſind aus Metallen und Flüſſigkeiten conſtruirt. Flüſſigkeiten aber ſind keine guten Leiter der Elektricität, ſie ſtehen in dieſer Hinſicht bei weitem den Metallen nach. Die feuchten Schichten, welche ſich zwiſchen den Metallplatten der Volta'ſchen Säule befinden, ſind nicht im Stande, alle die Elektricität in einer gegebenen Zeit durchzulaſſen, welche in derſelben Zeit durch die elektromotoriſche Kraft in der Säule möglicher Weiſe entwickelt werden könnte. Begreiflicher Weiſe hängt alſo die Quantität der Elektricität, welche in einem ſolchen Apparate circuliren kann, von dem Querſchnitt der feuchten Schichten ab; der Querſchnitt der feuchten Leiter hängt aber in der Volta'ſchen Säule von der Größe der Plattenpaare ab, man kann alſo die Quantität der Elektricität durch Vergrößerung der Platten vermehren. Für die Richtigkeit dieſes Schluſſes werden wir ſpäter experimentelle Beweiſe kennen lernen.

Mit der Vergrößerung der Platten der Volta'ſchen Säule wächſt aber auch die Berührungsfläche zwiſchen Kupfer und Zink; daß dies jedoch nicht die Urſache der vermehrten Quantität des elektriſchen Stromes iſt, geht daraus hervor, daß die Fig. 132 und Fig. 134 abgebildeten Apparate, bei welchen der Querſchnitt der flüſſigen Schicht zwiſchen Kupfer und Zink ſehr groß iſt, auch eine bedeutende Quantität von Elektricität liefern, obgleich die beiden Metalle ſich nur mit einer verhältnißmäßig kleinen Fläche berühren, nämlich da, wo der Kupferdraht an den Zinkcylinder oder die Zinktafel angelöthet iſt.

Alles alſo, was den Durchgang der Elektricität durch den flüſſigen Leiter befördert, hat unmittelbar eine Vermehrung der elektriſchen Quantität zur Folge. Je kürzer der Weg iſt, welchen die E durch die Flüſſigkeit zurückzulegen hat, je dünner alſo die flüſſige Schicht zwiſchen den Metall-

platten iſt, deſto mehr E kann im Apparat circuliren. Je mehr alſo die Flüſſigkeit leitend iſt, je näher ſich die Metallplatten in der Flüſſigkeit ſtehen, deſto größer iſt die elektriſche Quantität des Stromes.

Unterſuchen wir nun, welchen Einfluß die Zahl der Plattenpaare auf den galvaniſchen Strom hat. Denken wir uns eine Zinkplatte, auf dieſe eine feuchte Scheibe und auf dieſe wieder eine Kupferplatte gelegt, die beiden Metallplatten durch einen Kupferdraht verbunden, ſo haben wir eine geſchloſſene einfache galvaniſche Kette. Der Widerſtand, welchen der Strom im feuchten Leiter zu überwinden hat, iſt ungleich größer als der Widerſtand, welchen der Draht der Circulation des Stromes entgegenſetzt; der Apparat kann weit mehr E liefern, als der feuchte Leiter durchläßt. Verdoppeln wir nun die Zahl der Elemente, die oberſte Kupferplatte werde wie vorher durch einen Kupferdraht mit der unterſten Zinkplatte verbunden, ſo haben wir nun eine Kette von zwei Elementen. Es iſt nun die Frage, ob in dieſer Vorrichtung eine größere Quantität von Elektricität circuliren kann als in der oben betrachteten einfachen Kette?

In der einfachen Kette war die Quantität der circulirenden E durch den Widerſtand des feuchten Leiters begränzt; dieſer Widerſtand iſt nun durch die zweite feuchte Scheibe verdoppelt, dagegen iſt aber auch die Spannung, welche den elektriſchen Strom durchtreibt, noch einmal ſo groß geworden, es wird alſo in beiden Fällen gleichviel Elektricität circuliren. Die Vermehrung der Plattenpaare trägt bei vollkommener Schließung der Kette nichts zur Vermehrung der Quantität der circulirenden Elektricität bei; bei vollkommener Schließung iſt es alſo ganz gleichgültig, ob man ein oder viele Plattenpaare anwendet. Bei unvollkommener Schließung aber, d. h. wenn ein ſchlechter Leiter in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, muß man vielplattige Ketten anwenden, weil eine größere elektriſche Tenſion nöthig iſt, um den Durchgang durch den ſchlechten Leiter gleichſam zu erzwingen. Die Intenſität des galvaniſchen Stromes iſt der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Das Ohmiſche Geſetz. Die eben angedeuteten Beziehungen der 76
Stromſtärke zu den Elementen der Kette ſind durch Ohm auf ſtreng mathematiſche Formen zurückgeführt worden. Durch das nach ſeinem Urheber genannte Ohmiſche Geſetz, deſſen Grundzüge ſogleich näher entwickelt werden ſollen, iſt erſt den Unterſuchungen über die Stromſtärke eine ſichere Baſis gegeben worden.

Damit ein elektriſcher Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne, iſt es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verſchiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektriſirmaſchine mit einem Drahte, ſo ſtrömt die Elektricität

nur deshalb durch denſelben ab, weil die ſtarke Spannung der Elektricität auf den Conductor dieſelbe durch den Draht hindurchtreibt, weil alſo an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine ſtärkere Anhäufung von Elektricität ſtattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleich, gleich ſtark mit derſelben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, ſo könnte kein Strom entſtehen.

Wenn die Volta'ſche Säule iſolirt iſt, ſo befinden ſich die entgegengeſetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zuſtand der Spannung, und dieſer Zuſtand kann unmöglich ganz verſchwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es kann keine poſitive Elektricität von dem poſitiven Pole abſtrömen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieſer Elektricität ſtattfände; es iſt eine gewiſſe Spannung der Elektricität, gleichſam ein gewiſſer Druck nöthig, damit eine Bewegung entſtehe, damit die Leitungswiderſtände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen ſoll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchſtrömt, hängt alſo weſentlich von zwei Umſtänden ab, erſtens von dem zu überwindenden Leitungswiderſtand und zweitens von der Spannung, dem Druck, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt; es iſt nun leicht einzuſehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniß des Leitungswiderſtandes und im geraden Verhältniß der elektriſchen Spannung ſtehen muß, welche den Strom durch den Leiter hindurchtreibt. Die Spannung iſt hier gewiſſermaßen die beſchleunigende Kraft.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchſtrömt, die Stromſtärke läßt ſich alſo ausdrücken durch

$$\frac{E}{L}$$

wenn E die elektriſche Spannung, welche den Strom erzeugt, und L den zu überwindenden Leitungswiderſtand bezeichnet.

Betrachten wir den Strom eines einfachen geſchloſſenen Volta'ſchen Elementes. Die Spannung, welche den Strom veranlaßt, ſey e, der Leitungswiderſtand in der Kette ſelbſt ſey λ, im Schließungsdraht aber l, ſo iſt alſo die Stromſtärke

$$p = \frac{e}{\lambda + l}.$$

Hätte man n ſolcher Elemente zu einer Säule vereinigt, ſo würde die elektriſche Spannung, welche den Strom in Bewegung ſetzt, ne ſeyn, der Widerſtand in der Kette aber iſt in demſelben Verhältniß gewachſen, denn jetzt iſt nicht der Widerſtand in einem, ſondern in n Elementen zu überwin-

den, der Leitungswiderſtand iſt alſo jetzt $n\lambda$. Wenn nun der Schließungsbogen derſelbe iſt wie bei der einfachen Kette, ſo hat man für die Stromſtärke

$$p^1 = \frac{n\,e}{n\lambda + l}.$$

Wäre l ſehr klein im Vergleich zu λ, ſo würde der obige Werth von p ſehr nahe $\frac{e}{\lambda}$, der Werth von p^1 aber $\frac{n\,e}{n\lambda}$, alſo auch $= \frac{e}{\lambda}$ ſeyn; wenn alſo der Widerſtand im Schließungsbogen klein iſt im Vergleich zu dem Leitungswiderſtand eines einzelnen Elementes, ſo gewährt die Vermehrung der Elemente gar keinen Vortheil. Dahingegen hat eine Vermehrung der Elemente eine Vermehrung der Stromſtärke zur Folge, wenn l ſehr groß iſt, d. h. wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerſtand zu überwinden iſt.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Vergrößerung der Oberfläche einer einfachen Kette hat. Die Stromſtärke für ein einziges Element wurde oben mit $p = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'ſchen Elements $n$mal ſo groß würde, ohne daß ſonſt etwas geändert wird, ſo hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderſtand in der Kette ſelbſt $n$mal kleiner zu machen, weil ja der Querſchnitt der Flüſſigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muß, $n$mal größer geworden iſt; ſtatt des Widerſtandes λ hätte man alſo jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromſtärke p'' wird alſo ſeyn

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l},$$

oder was daſſelbe iſt

$$p'' = \frac{n\,e}{\lambda + n\,l}.$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderſtand im Schließungsbogen gleich Null, ſo wäre die Stromſtärke der Oberfläche des elektrometriſchen Elementes proportional; dies iſt auch noch ſehr nahe der Fall, wenn l nur ſehr klein iſt; eine Vergrößerung der Oberfläche bringt alſo dann eine Vermehrung der Stromſtärke hervor, wenn der Leitungswiderſtand im Schließungsbogen klein iſt gegen den Widerſtand in der Kette.

Die Werthe für die Leitungswiderſtände in der Kette ſelbſt und im Schließungsbogen müſſen natürlich auf eine und dieſelbe Einheit bezogen werden, wie wir dies ſogleich ſehen werden.

Das Ohmiſche Geſetz war ſchon im Jahre 1827 publicirt worden

(die galvaniſche Kette, mathematiſch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin, 1827); es fand jedoch erſt weit ſpäter die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande, namentlich in Frankreich wurde es erſt vor wenigen Jahren bekannt, und ſo iſt es erklärlich, daß Pouillet, ohne mit Ohm's Unterſuchungen bekannt zu ſeyn, die Grundſätze deſſelben auf experimentalem Wege nachwies, während Ohm ſeine Reſultate aus theoretiſchen Betrachtungen abgeleitet hatte. Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daß Pouillet ebenfalls die Ehre der Entdeckung gebührt, namentlich wenn man bedenkt, wie ſehr verſchieden die Wege waren, auf welchen beide Gelehrte zu derſelben Wahrheit gelangten.

Pouillet's Verſuche mögen uns nun hier als experimentale Belege für die Richtigkeit des Ohmiſchen Geſetzes dienen.

77 **Geſetze der Stromſtärke eines einzigen hydroelektriſchen Elementes.** Nehmen wir zu Verſuchen über dieſen Gegenſtand ein Becquerel'ſches Element, Fig. 135, weil ein ſolches einen ſtarken conſtanten Strom giebt. Man kann dazu eben ſo gut auch ein Element irgend einer andern conſtanten Batterie nehmen.

Um zu beſtimmen, nach welchem Geſetze die Stromſtärke abnimmt, wenn der Schließungsbogen verlängert wird, läßt man zuerſt den Strom unmittelbar durch die Tangentenbouſſole gehen, dann aber ſchaltet man der Reihe nach gleich dicke Drahtſtücke von 5, 10, 40, 70 und 100 Meter Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müſſen ſie mit Seide überſponnen und zuſammengewunden ſeyn.

Eine Verſuchsreihe der Art gab folgende Reſultate:

Länge des eingeſchalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter	62° 00′	1,880
5	40 20	0,849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Man ſieht hier gar keine Regelmäßigkeit in der Abnahme, welche die Stromſtärke erleidet, wenn der eingeſchaltete Draht länger wird; wenn man aber bedenkt, daß dieſer Draht nicht das einzige Hinderniß für den Strom

iſt, daß in dem elektromotoriſchen Apparate ſelbſt und in den verſchiedenen Theilen der Bouſſole, welche der Strom durchläuft, ein Leitungswiderſtand überwunden werden muß, was wir als Widerſtand des Elementes bezeichnen wollen, ſo iſt klar, daß man den Widerſtand des Elementes gleichſetzen kann dem Widerſtand eines Kupferdrahtes von derſelben Dicke wie der eingeſchaltete und von der noch unbekannten Länge x, eigentlich alſo ſind folgende die zuſammengehörigen Längen der Kette und Ablenkungswinkel:

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
x	62° 00′	1,880
$x + 5$	40 20	0,849
$x + 10$	28 30	0,543
$x + 40$	9 45	0,172
$x + 70$	6 00	0,105
$x + 100$	4 15	0,074

Wenn ſich nun die Stärke der hydroelektriſchen Ströme wirklich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, ſo müſſen ſich die Zahlen der erſten Columne umgekehrt verhalten wie die Zahlen der letzten, es muß alſo ſeyn

$$x : x + 5 = 0{,}849 ; 1{,}880$$

woraus ſich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieſelbe Weiſe die erſte Beobachtung mit allen folgenden, ſo muß man immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That ſind die auf dieſe Weiſe berechneten Werthe von x ſehr nahe einander gleich; man findet nämlich außer dem ſchon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus iſt 4,08.

Der Widerſtand des Elementes iſt alſo gleich dem Widerſtand eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derſelben Dicke wie der eingeſchaltete. Legt man dieſe Länge zu Grunde, ſo kann man nach dem allgemeinen Geſetze, daß ſich die Stärke des Stromes umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, leicht die Ablenkungen berechnen, welche man hätte erhalten müſſen, und dieſe mit den direkt beobachteten vergleichen, wie dies in der folgenden Tabelle geſchehen iſt:

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter.	62° 00′	62° 00′	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	— 11
44,08	9 56	9 45	— 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine ſolche Uebereinſtimmung zwiſchen den Reſultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem allgemeinen Geſetz abgeleitet hat, läßt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieſes Geſetzes für hydroelektriſche Ströme.

Iſt der Leitungswiderſtand des Elementes einmal auf einen Draht von gegebenem Querſchnitt reducirt, ſo iſt es leicht, die Zahl zu finden, welche dieſen Leitungswiderſtand ausdrückt, wenn man zu den Verſuchen irgend einen andern Draht anwendet. Der Widerſtand des Elementes iſt z. B. gleich dem eines 4,08 Meter langen Drahtes, wie er zu den obigen Verſuchen war angewendet worden, er iſt aber auch gleich dem Widerſtand eines 40,8 Meter langen Drahtes von 10mal größerm Querſchnitt u. ſ. w.

Ebenſo wie man nach dieſer Methode den Einfluß der Länge der Kette beſtimmt, kann man auch den Einfluß der verſchiedenen Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle unterſuchen.

78 **Geſetze der Stromſtärke zuſammengeſetzter Ketten.** Sechs Becquerel'ſche Elemente von der auf Seite 144 dargeſtellten Einrichtung werden zu einer Kette verbunden. Zuvor aber war der Leitungswiderſtand jedes einzelnen Elementes beſtimmt worden; die folgende Tabelle enthält die Reſultate dieſer Unterſuchung.

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche zu jedem Element hinzugefügt worden waren	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0m	69° »'	2, 600	» m »
	5	43 20	0, 943	2, 85
	10	30 »	0, 577	2, 85
	40	11 »	0, 194	3, 20
			Mittel . . .	2, 97
2	0	66 30	2, 300	» »
	5	43 »	0, 933	3, 41
	10	29 40	0, 570	3, 35
	40	10 40	0, 488	3, 55
			Mittel . . .	3, 44
3	0	67 40	2, 434	» »
	5	42 30	0, 916	3, 02
	10	29 40	0, 570	3, 05
	40	10 20	0, 182	3, 23
			Mittel . . .	3, 10
4	0	67 »	2, 355	» »
	5	42 30	0, 909	3, 19
	10	29 40	0, 570	3, 19
	40	10 20	0, 482	3, 55
			Mittel . . .	3, 25
5	0	68 »	2, 475	» »
	5	43 20	0, 943	3, 08
	10	30 30	0, 589	3, 13
	40	11 »	0, 194	3, 40
			Mittel . . .	3, 21
6	0	64 »	2, 050	» »
	5	41 »	0, 869	3, 68
	10	28 40	0, 548	3, 64
	40	10 »	0, 176	3, 57
			Mittel . . .	3, 69

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke seyn müßte, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn das Element nur durch die Tangentenbousſole geschlossen ist.

Die einzelnen Elemente hatten alſo faſt gleiche Stärke, nur das 6te war etwas ſchwächer. Dieſe 6 Elemente, zu einer Kette verbunden, gaben einen Strom, welcher einen Platindraht von $\frac{1}{4}$ Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Ließ man nun dieſen Strom durch die Tangentenbouſſole gehen, ſo erhielt man bei Einſchaltung verſchiedener Längen von Kupferdraht folgende Reſultate:

Länge des eingeſchalteten Drahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.	Widerſtände.
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
		Mittel . . .	18,43

Die 6 Elemente zuſammen leiſten alſo mit der Tangentenbouſſole einen Leitungswiderſtand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeſchalteten Drahtes.

Aus dieſen Verſuchen geht hervor, daß die 6 Elemente, nun durch die Tangentenbouſſole geſchloſſen, eine Ablenkung geben, welche nicht größer iſt als diejenige, welche ein einziges nur durch die Tangentenbouſſole geſchloſſenes Element giebt. Schaltet man aber einen Draht ein, ſo daß der Widerſtand im Schließungsbogen bedeutend wird, ſo wird durch Vermehrung der Elemente die Stromſtärke vergrößert. Die Ablenkung iſt 39° für 6, 10 bis 11° für ein Element, wenn ein 40 Meter langer Draht eingeſchaltet wird.

Ferner zeigen dieſe Verſuche, daß der Widerſtand der Säule weit größer iſt als der eines jeden einzelnen Elementes, daß übrigens auch hier die Stromſtärke dem allgemeinen Geſetze unterworfen bleibt, daß ſich nämlich die Stromſtärke umgekehrt verhält wie die Geſammtlänge der zu durchlaufenden Kette (für jedes einzelne Element iſt natürlich ſeine reducirte Länge in Rechnung zu bringen).

79 **Theorie des Multiplicators.** Nach den eben entwickelten Geſetzen kann man auch beſtimmen, welche Einrichtung man einem Multiplicator geben müſſe, damit er möglichſt empfindlich ſey. Einige Beiſpiele werden hinreichen, die allgemeinen Principien verſtändlich zu machen und zu

zeigen, daß die Construction des Multiplicators ganz und gar von der Kette abhängt, in welche man ihn einschalten will.

1) Wenn man einen Multiplicator bei einer Kette anwendet, welche an und für sich eine bedeutende Länge hat, so muß man dem Multiplicator eine große Anzahl von Windungen geben, und braucht ihn nicht aus einem gar dicken Drahte zu construiren. Nehmen wir z. B. an, die Kette bestehe aus einem $^1/_{10}$ Millimeter dicken und 100 Meter langen Kupferdrahte, so wird, wenn man einen ebenso langen und ebenso dicken Multiplicatordraht hinzufügt, die Stromstärke nur auf die Hälfte reducirt, mit diesen 100 Metern kann man aber viele sehr dicht auf einander liegende Windungen machen, welche auf die Nadel eine sehr kräftige Wirkung ausüben. Wollte man den Multiplicatordraht nur 10 Meter lang machen, so würde die Stromstärke $^{10}/_{11}$ der ursprünglichen sein, durch diesen kürzeren Multiplicatordraht wäre also der Strom an und für sich freilich nicht so stark geschwächt worden, wie im vorigen Falle: mit dem 10 Meter langen Drahte kann man aber nur 10mal weniger Windungen machen als mit dem 100 Meter langen, und es ist klar, daß 10 Windungen, von denen jede die Stromstärke $^1/_2$ besitzt, stärker wirken, als eine Windung von der Stromstärke $^{10}/_{11}$.

Hätte man statt des 100 Meter langen und $^1/_{10}$ Millimeter dicken Multiplicatordrahtes einen ebenso langen, aber 1 Millimeter dicken angewendet, so würde die Einschaltung dieses Drahtes fast nichts an der Stromstärke der Kette geändert haben, während der gleich lange, $^1/_{10}$ Millimeter dicke Draht sie auf die Hälfte reducirte. Man sollte demnach meinen, daß bei gleicher Länge der dickere Multiplicatordraht die doppelte Wirkung geben müßte. Dies ist jedoch nicht der Fall, weil die Windungen des dünneren Drahtes dichter zusammen gewunden werden können, also der Nadel alle näher sind und deshalb auch kräftiger wirken. Man kann demnach leicht den Einfluß der Länge und der Dicke des Multiplicatordrahtes für jeden Fall richtig beurtheilen.

2) Wenn der Multiplicator in eine Kette eingeschaltet werden soll, welche an und für sich nicht lang ist, so muß man einen kurzen, dicken Draht nehmen und wenige Windungen machen. Man kann sich davon leicht durch ein dem vorigen ganz ähnliches Raisonnement überzeugen.

Wenn also die Kette, in welche man den Multiplicator einschalten will, kurz ist, so kann man in der That sagen, daß der Multiplicator nicht mehr multiplicirt, denn vorausgesetzt, daß die Länge der Kette selbst gegen die des Multiplicatordrahtes vernachlässigt werden kann, so ist klar, daß, wenn man 10mal so viel Windungen macht, man einen 10mal längeren Draht nehmen muß, wodurch die Stromstärke auf $^1/_{10}$ reducirt wird.

Zehn Windungen von der Stromstärke $1/10$ wirken aber nicht mehr, als eine einzige von der Stromstärke 1.

80 **Leitungsfähigkeit der Metalle.** Bei den auf Seite 186 angeführten Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt. Wenn man nun aber gleich lange, aber ungleich dicke Drähte desselben Metalls in den Schließungsbogen einschaltet und immer die entsprechenden Ablenkungen der Nadel der Tangentenbousſole beobachtet, so ergiebt sich aus diesen Versuchen das Verhältniß der Stromstärke zur Dicke der Drähte; man findet: daß die Stromstärke dem Querschnitte der Drähte proportional ist; oder mit anderen Worten: zwei Drähte desselben Metalles werden gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbousſole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Ganz außerordentlich wird die Bestimmung des Leitungswiderstandes durch ein Instrument erleichtert, welches unter dem Namen des Rheostaten bekannt ist; sein Zweck ist, nach Belieben den Leitungswiderstand im Schließungsbogen jeden Augenblick vermehren und vermindern zu können, ohne die Kette zu öffnen.

Solche Instrumente sind von Wheatstone, Jakobi und Petrina construirt worden; Wheatstone selbst hat dem Instrumente verschiedene Formen gegeben. Eine derselben ist Fig. 164 und Fig. 165 (a. f. S.) dargestellt. Fig. 165 zeigt das Instrument im Grundriß, Fig. 164 zeigt es im Aufriß, und zwar in $1/7$ der natürlichen Größe. Auf einem Cylinder von trockenem Holz, der um seine Axe mit Hülfe einer Kurbel umgedreht werden kann, ist ein Schraubengang eingeschnitten. (In unserer Figur ist derselbe verhältnißmäßig viel zu grob gezeichnet; auf die Länge des Cylinders gehen ungefähr 80 Umgänge.) In diesen Schraubengang ist ein Draht entweder von Messing oder von Neusilber gewunden. Neusilber bietet den Vortheil, daß man bei gleichem Leitungswiderstande einen dickern Draht wählen kann. Am einen Ende *a* des Cylinders ist der Draht auf dem Holze befestigt; am andern Ende *b* geht er durch ein Loch im Holze hindurch nach der eisernen Umdrehungsaxe des Cylinders, auf welcher er befestigt ist.

Neben dem Holzcylinder befindet sich ein Metallstab *c d*, welcher bei *c* eine Schraubzwinge zur Aufnahme von Drähten hat. Auf diesen

Metallstab ist eine Metallhülse verschiebbar, an welcher ein Holzklötzchen befestigt ist, welches den Raum zwischen ihm und dem Holzcylinder aus-

Fig. 164.

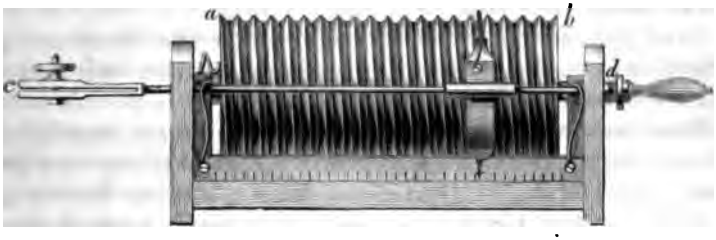
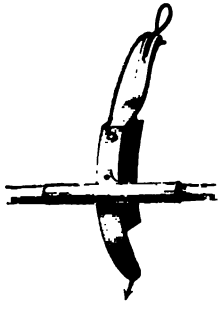


Fig. 165.

füllt, und in welches Rinnen geschnitten sind, die in die Schraubengängen des Holzcylinders passen, so daß bei Umdrehung des Cylinders die Hülse fortgeschoben wird, und zwar nach der einen oder andern Seite, je nachdem man rechts oder links dreht.

An der Hülse ist auch ein federnder Metallbogen befestigt, der einen gewundenen Metalldraht gegen den Draht auf den Holzcylinder drückt. Der Berührungspunkt ändert sich natürlich, wenn die Hülse mit allem, was daran ist, durch Umdrehung des Cylinders fortgeschoben wird. Die Einrichtung der Hülse sammt Metallbogen und Holzklötzchen ist Fig. 166 in größerem Maaßstabe dargestellt.

Fig. 166.



Wenn nun bei *c* der eine, bei *f* der andere Polardraht einer galvanischen Kette eingeschraubt wird, so läuft der Strom folgendermaßen durch den Apparat:

Von *c* durch die Stange *c d* bis zur verschiebbaren Hülse, von dieser durch den Metallbogen und seinen Draht auf den Draht des Holzcylinders, von dem Berührungspunkte des Schlittens an durchläuft er dann alle Windungen

nach der rechten bis *b*, geht auf die metallene Axe des Holzcylinders und auf dieſer durch denſelben der Länge nach hindurch. Auf der andern Seite drückt auf die Metallaxe eine Drahtfeder, welche den Strom auf eine Metallplatte *g* führt, von der er durch *f* austritt.

Es iſt klar, daß der Strom bald mehr, bald weniger Windungen des Rheoſtaten zu durchlaufen hat, je nachdem der Schlitten mehr nach der linken oder rechten Seite geſchoben iſt.

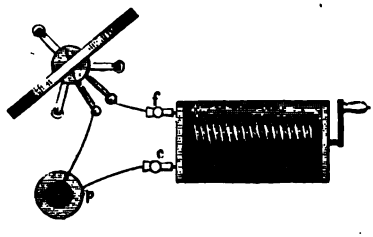
Wenn der Schlitten am Ende *b* des Cylinders ſteht, ſo durchläuft der Strom keine der Windungen des Cylinders. Dreht man nun die Kurbel 1mal, 2mal, 3mal . . . 10mal u. ſ. w. um, ſo wird der Schlitten um 1, 2, 3 . . . 10 u. ſ. w. Schraubengänge fortgeſchoben, der Strom durchläuft jetzt außer dem Wege, den er vorher ſchon zu durchlaufen hatte, noch 1, 2, 3 . . . 10 Windungen des Drahtes auf den Holzcylinder.

Um die Anzahl der Windungen beſſer zählen zu können, iſt an dem Schlitten unten ein kleiner Pfeil angebracht, der auf einer Scala die Anzahl der Umwindungen zeigt, welche der Strom zu durchlaufen hat. Der Zeiger ſteht auf Null, wenn der Schlitten am äußerſten rechten Ende des Holzcylinders ſteht.

Um auch noch die Unterabtheilungen der einzelnen Windungen beſtimmen zu können, iſt am Ende der Umdrehungsaxe bei *n* ein Zeiger befeſtigt, welcher den Radius eines am Rande in 10 gleiche Theile getheilten Kreiſes bildet, der in unſeren Figuren natürlich unſichtbar iſt. Dieſer Zeiger ſteht auf 0, wenn der Zeiger des Schlittens auf 0, 1, 2, 3 . . . 10 u. ſ. w. ſteht. Nehmen wir an, der Zeiger des Schlittens ſtehe zwiſchen 16 und 17, der Zeiger bei *n* ſtehe auf 6, ſo hat der Strom 16,6 Windungen zu durchlaufen.

Bei *c* ſey der poſitive Pol der Kette eingeklemmt; von *f* führe ein Draht zur Tangentenbouſſole, ein anderer von dieſer zum negativen Pol der Kette, wie dies Fig. 167 angedeutet iſt. Steht das Rheoſtat auf Null, ſo zeigt die Bouſſole eine gewiſſe Ablenkung; wird nun das Rheoſtat gedreht, bis der Zeiger bei 10, 20, 30 u. ſ. w. ſteht, ſo hat nun der Strom außer dem anfänglichen Widerſtande noch den von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden, die Ablenkung der Nadel wird eine entſprechende Abnahme erfahren. Wenn man die einer jeden Stellung des Schlittens entſprechende Ablenkung notirt, ſo laſſen

Fig. 167.



ſich mit dem Rheoſtaten auf die bequemſte Weiſe die auf S. 187 entwickelten Geſetze nachweiſen.

Um zu beweiſen, daß ſich die Leitungswiderſtände der Drähte umgekehrt verhalten wie ihre Querſchnitte, ſtelle man zunächſt den Rheoſtaten auf Null. Die entſprechende Ablenkung ſey $51\frac{1}{2}^0$.

Nun ſchalte man an irgend einer Stelle, etwa bei *c*, einen Kupferdraht, etwa von 5 Meter Länge und 0,26 Linie Durchmeſſer ein, ſo wird die Nadel etwa auf 37 zurückgehen. (Um ſolche Drähte bequem handhaben zu können, windet man ſie am beſten auf einen trocknen Holzcylinder, in welchem ein Schraubengewinde eingeſchnitten iſt.)

Nachdem man den Draht wieder entfernt und die Kette wieder geſchloſſen hat, ſtellt ſich die Nadel wieder auf die urſprüngliche Stelle (in unſerem Beiſpiel $51\frac{1}{2}^0$), und um zu machen, daß ſie wieder auf 37^0 zurückgeht, muß man durch Drehung des Rheoſtaten den Schlitten um eine beſtimmte Anzahl von Windungen, z. B. um 4,2 Windungen voranſchieben. Es iſt nun klar, daß der eingeſchaltete Kupferdraht denſelben Widerſtand hervorbringt, wie 4,2 Windungen des Drahtes auf dem Rheoſtaten.

Wiederholt man nun denſelben Verſuch mit einem Kupferdraht, der eben ſo lang iſt wie der eben betrachtete, aber von halb ſo großem Durchmeſſer, ſo wird man finden, daß dieſer dünnere Kupferdraht einen eben ſo großen Widerſtand ausübt, wie $16\frac{3}{4}$ Windungen des Drahtes auf das Rheoſtat; der Widerſtand des halb ſo dicken Kupferdrahtes iſt alſo 4mal größer.

Um den Leitungswiderſtand verſchiedener Metalle zu vergleichen, kann man den Verſuch in der Weiſe anordnen, wie es in folgendem Beiſpiel der Fall war.

Das Rheoſtat, auf 0 geſtellt, gab der Bouſſole einen Ausſchlag von $51\frac{1}{2}^0$. Es wurde nun der Reihe nach eingeſchaltet ein Kupfer-, ein Eiſen-, ein Meſſing- und ein Neuſilberdraht. Alle waren 5^m lang und hatten einen Durchmeſſer von 0,26‴ (alle waren durch daſſelbe Loch gezogen). Die Nadel ging zurück beim

Kupferdraht auf	37^0
Meſſingdraht	19^0
Eiſendraht	$12\frac{3}{4}^0$
Neuſilberdraht	$6\frac{3}{4}^0$

Wurde nun die Kette wieder ohne Einſchaltung von Drähten geſchloſſen, ſo mußte man durch Drehen des Rheoſtaten den Schlitten um

4,2 Windungen voranſchieben, um die Nadel auf 37^0 zu bringen.
16,6 » » » » » » 19^0 » »
29,5 » » » » » » $12\frac{3}{4}^0$ » »
65 » » » » » » $6\frac{3}{4}^0$ » »

Es iſt alſo der Widerſtand des

Kupferdrahtes gleich dem von 4,2 Windungen des Rheoſtats.
Meſſingdrahtes » » » 16,6 » » »
Eiſendrahtes » » » 29,5 » » »
Neuſilberdrahtes » » » 65 » » »

Die Leitungsfähigkeit des Kupfers, Meſſings, Eiſens und Neuſilbers verhält ſich umgekehrt wie dieſe ihnen äquivalenten Längen des Drahtes auf dem Rheoſtat, ſetzt man alſo die Leitungsfähigkeit des Kupfers gleich 100, ſo iſt die des

Meſſings	25,3
Eiſens	14,2
Neuſilbers	6,4

Nach Pouillet's Verſuchen, die jedoch nach einer andern Methode angeſtellt worden waren, verhält ſich die Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle, wie folgende Tabelle angiebt.

Silber	136	
Gold	103	
Kupfer	100	
Zink	28	(Becquerel)
Platin	22	
Eiſen	17	
Queckſilber	2,6.	

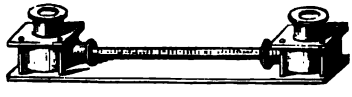
D. h. ein Kupferdraht von 100 Fuß Länge leiſtet einem elektriſchen Strome einen ebenſo großen Widerſtand, wie gleich dicke Drähte von Silber, Zink, Platin, Eiſen u. ſ. w., welche resp. 136, 28, 22, 17 Fuß lang ſind.

Rieß hat nach der auf S. 108 angedeuteten Methode die Leitungsfähigkeit der Metalle folgendermaßen beſtimmt:

Silber	148
Kupfer	100
Meſſing	28
Eiſen	17
Platin	15

Um das Leitungsvermögen des Queckſilbers zu beſtimmen, wandte Pouillet ſtatt des Drahtes eine vollkommen cylindriſche, mit Queckſilber gefüllte Glasröhre an, deren Durchmeſſer man durch Wägung ermitteln kann.

Fig. 168.



Die Enden dieſer Röhre, Fig. 168, ſtecken in zwei hinlänglich weiten Glasröhren.

Ein erhitzter Draht leitet den

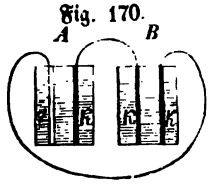
elektrischen Strom nicht so gut wie ein kalter, oder mit anderen Worten, durch Erwärmung wird die Leitungsfähigkeit der Metalle vermindert; die Ablenkung der Nadel in der Tangentenbousſole wird sogleich vermindert, wenn man den in den Schließungsbogen eingeschalteten Draht durch eine Weingeistflamme erhitzt.

Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten. Das Ohmische Gesetz läßt 81
sich nicht so direct auf Flüssigkeiten anwenden, welche in den Schließungsbogen eingeschaltet werden, wie auf Metalle, denn man hat außer dem Widerstande, welchen der Strom bei seinem Durchgange durch die Flüssigkeit zu überwinden hat, noch einen andern Widerstand beim Uebergange, den Strom von Metall in die Flüssigkeit und umgekehrt, in Rechnung zu bringen. Bei Berücksichtigung dieses Widerstandes gilt das Ohmische Gesetz auch für flüssige Leiter.

Die Existenz eines solchen Widerstandes läßt sich am einfachsten durch folgenden von Fechner angegebenen Versuch nachweisen. In einen Trog *a*, Fig. 169, wurden eine Zinkplatte *z* und eine Kupferplatte *k* einander gegenüber gestellt, der Trog mit Flüssigkeit gefüllt und die Kette geschlossen, wie es in der Figur durch die Linie angedeutet ist, und dann die Stromstärke bestimmt. Nun wurde ein zweiter gleicher Trog *B* mit zwei Kupferplatten daneben gestellt, eben so hoch mit derselben Flüssigkeit gefüllt und die Kette geschlossen, wie es Fig. 170 angedeutet ist. Dabei wurden aber die Platten *k* und *z* im Troge *A* genähert und die Platten *k k* in *B* in solche Entfernung gebracht, daß die Entfernungen von *k* und *z* im Troge *A*, die Entfernung der Platten *k k* in *B*, Fig. 170, so groß war wie die Entfernung der Platten im Troge *A*, Fig. 169. Unter sonst ganz gleichen Umständen hatte also der Strom in beiden Fällen denselben Weg durch die Flüssigkeit zurückzulegen; die Stromstärke für beide Fälle war aber nicht gleich, sie war in dem letzten Falle fast nur halb so groß wie im ersteren. Diese Schwächung der Stromstärke kann nur einem Widerstande beim Uebergange von Metall in der Flüssigkeit zugeschrieben werden; denn bei gleicher Länge des zu durchlaufenden flüssigen Leiters, gegen dessen Widerstand der des metallischen Schließungsbogens ganz verschwindet, hat im letzten Falle der Strom noch einmal mehr aus Metall in Flüssigkeit, und dann wieder von der Flüssigkeit in das Metall überzugehen.

Fig. 169.

Fig. 170.



Auch folgender Versuch von Lenz beweis't sehr augenscheinlich die Existenz dieses Widerstandes. In einem viereckig ausgefüllten Holztrog, welcher mit verdünnter Salzsäure gefüllt war, waren zwei Kupfer-

platten in einer Entfernung von 1 Linie einander gegenüber gestellt, und dann ein galvanischer Strom durchgeleitet worden. Der Meßapparat gab eine Ablenkung von 47°. Nun wurde der Versuch mit zwei Platinplatten wiederholt, die eben so groß wie die Kupferplatten, in gleicher Entfernung in derselben Flüssigkeit eingetaucht waren. Nun erhielt man nur 9° Ablenkung. In einer Verschiedenheit der Leitungsfähigkeit der festen Theile konnte die Ursache dieser Verschiedenheit nicht liegen, der flüssige Leiter war in beiden Fällen derselbe, der Unterschied konnte also nur daher rühren, daß der Widerstand an der Berührungsstelle größer ist für Platin und Salzsäure, als für Kupfer und Salzsäure.

Will man den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit an und für sich ermitteln, so muß man die Versuche so anordnen, daß der eben besprochene Widerstand eliminirt werden kann, was leicht möglich ist. Es werde ein Strom durch die Flüssigkeit hindurchgeleitet, während die beiden Platten 1 Linie von einander abstehen, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{L},$$

wenn E die elektromotorische Kraft, welche der Strom bedingt, L aber die Summe aller Widerstände bezeichnet. Bringt man nun die Platten in die doppelte Entfernung, so ist jetzt die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{L+l},$$

wo l den Widerstand einer Flüssigkeitsschicht von 1‴ Dicke bezeichnet, die jetzt noch hinzugekommen ist; alles übrige, also auch der Widerstand an der Berührungsstelle des Metalles und der Flüssigkeit ist unverändert geblieben. Durch Combination dieser beiden Gleichungen läßt sich l bestimmen.

Nach Lenz ist der Leitungswiderstand einer Lösung von Kupfervitriol 6857500mal so groß, als die des Kupfers, d. h. der Leitungswiderstand einer Schicht von Kupfervitriollösung ist eben so groß, wie der einer 6857500mal so langen Kupferstange von gleichem Querschnitt. Außer diesem Widerstande hat aber der Strom auch noch den Uebergangswiderstand zu überwinden, wenn man ihn durch die Lösung des Kupfervitriols hindurchleiten will.

Nach Pouillet, welcher übrigens den sogenannten Uebergangswiderstand nicht berücksichtigt, ist die Leitungsfähigkeit des Wassers 0,0025, wenn man die der Kupfervitriollösung mit 1 bezeichnet.

Für gesäuerte Flüssigkeit ist der Uebergangswiderstand ungleich geringer, als für reines Wasser, und daher mag es wohl vorzugsweise kommen, daß die Leitung des Stromes so sehr erleichtert wird, wenn man dem Wasser etwas Säure zugießt.

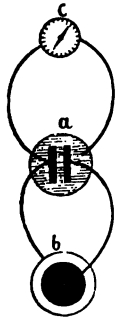
Galvaniſche Polariſation. Der in der vorigen Nummer beſpro- 82
chene Uebergangswiderſtand rührt von der ſogenannten galvaniſchen Polariſation her; mit dieſem Namen bezeichnet man die dem urſprünglichen Strome entgegenwirkende Ladung der Platten, welche wir ſchon bei der Theorie der conſtanten Kette auf S. 167 kennen gelernt haben, und welche daher rührt, daß ſich die Platten, zwiſchen denen der Strom durch die Flüſſigkeit übergeht, in Folge der Zerſetzung der Flüſſigkeit mit einer Schicht von Stoffen überziehen, welche in Berührung mit der Platte elektromotoriſch wirken.

Wenn man in den Schließungsbogen einer Kette einen Waſſerzerſetzungsapparat einſchaltet, deſſen Platten von Platin ſeyn mögen, ſo werden ſie ebenfalls eine ſolche Polariſation erfahren, d. h. durch Ablagerung ſolcher Schichten werden ſie ſelbſt zu elektromotoriſchen Elementen, welche dem urſprünglichen Strome entgegenwirken, und einen Strom zu erzeugen ſtreben, welcher dem urſprünglichen entgegengeſetzt iſt.

Daß die Tendenz zu einem ſolchen Gegenſtrom vorhanden iſt, läßt ſich am beſten dadurch zeigen, daß man dieſen Strom wirklich zur Entſtehung bringt. Es iſt dies auf folgende Weiſe möglich:

Man bringe die beiden Platten eines Waſſerzerſetzungsapparates mit den beiden Polen einer galvaniſchen Kette in Berührung, wie dies Fig. 171 angedeutet iſt, wo *a* den Waſſerzerſetzungsapparat, *b* die galvaniſche Kette darſtellen ſoll. (Es iſt zu dieſem Verſuche nur ein Element nöthig.) Hat die Schließung nur ganz kurze Zeit gedauert, ſo ſind die Platten in *a* geladen; öffnet man die Kette, bringt man alsdann die eine Platte von *a* mit dem einen, die andere mit dem andern Drahtende eines Multiplicators *c* in Berührung, ſo wird die Multiplicatornadel abgelenkt und zeigt einen Strom an, welcher dem durch die Kette *b* im Waſſerzerſetzungsapparat *a* hervorgebrachten entgegengeſetzt iſt.

Fig. 171.



Dieſe Erſcheinung erklärt uns auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungsſäule.

Wenn man eine Säule von Kupferſcheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derſelben mit den Polen einer galvaniſchen Kette von hinlänglichen Spannungen verbindet, ſo wird die Säule ganz in derſelben Weiſe geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Waſſerzerſetzungsapparates. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe ſolcher Zerſetzungszellen, deren Platten ſämmtlich polariſirt geladen werden. Trennt man die ſecundäre Säule (auch ſo wird die Ladungsſäule genannt) von der galvani-

ſchen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, ſo iſt ſie nun ſelbſt im Stande, die Erſcheinungen einer galvaniſchen Kette hervorzubringen; ſie zeigt an dem einen Pol poſitive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher den der ladenden Kette entgegengeſetzt iſt, kann ſelbſt chemiſche Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine ganz ſecundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'ſchen oder Bunſen'ſchen Element, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich ſtärkere Widerſtände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Element.

Fig. 172.

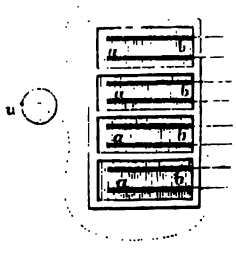


Fig. 172 ſtelle eine ſecundäre Säule dar, die aus 4 Paaren von Platinplatten beſteht; jedes Paar befindet ſich in einem beſondern Troge. Werden nun alle Platinplatten, die in unſerer Figur mit *a* bezeichnet ſind, mit dem einen, alle mit *b* bezeichneten mit dem anderen Pole des ladenden Elementes verbunden, ſo wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar iſt die Ladung für alle Paare dieſelbe. Wird nun die Verbindung mit dem primären Element aufgehoben, die Platinplatte nach dem Princip der Säule ſo verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet iſt, und dann die ſecundäre Säule durch einen Bogen geſchloſſen, in welchen ein Waſſerzerſetzungsapparat *w* eingeſchaltet iſt, ſo entſteht ein Strom, welcher eine kräftige Waſſerzerſetzung erzeugt, während das ladende Element eine ſolche Zerſetzung nicht hervorbringt. Das primäre Element hat nicht Spannung genug, um Waſſer zu zerſetzen, welche man erhält, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Princip der Säule combinirt.

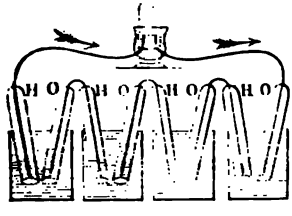
Der Entladungsſtrom der ſecundären Säule iſt natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Waſſer zu zerſetzen, muß man raſch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entſprechender Weiſe mit den Polen der primären Kette verbinden und alsbald wieder eine neue Entladung bewerkſtelligen können. Poggendorff hat einen ſehr ſinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe deſſen die Ladungen und Entladungen ſehr raſch ausgeführt werden können. Die Beſchreibung der Wippe würde uns zu weit führen.

Eine ſolche Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2\frac{1}{2}$ Quadratzoll groß waren und mit einem Grove'ſchen Element geladen wurden, lieferten bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Kubikzoll Knallgas.

Die Platinplatten der Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

Die von Grove construirte Gasbatterie gehört auch in die Kategorie der Ladungssäulen. In Fig. 173 ist eine solche Gasbatterie abgebildet.

Fig. 173.



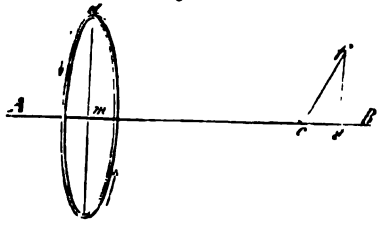
In jedem der mit verdünnter Schwefelsäure gefülltem Gefäße stehen zwei oben zugeschmolzene Glasglöckchen, in welchen sich mit Platinmoor überzogene Platinstreifen befinden. Ein in dem Glöckchen oben eingeschmolzener Platindraht verbindet je zwei Platinstreifen in der Weise, wie man es in der Figur sieht. Der obere Theil der mit *H* bezeichneten Glöckchen enthält Wasserstoffgas, die mit *O* bezeichneten dagegen enthalten Sauerstoffgas. Eine Batterie von 50 Elementen mit ungefähr ¼ Zoll breiten Platinstreifen gab einen Schlag und sehr bedeutende Wasserzersetzung.

Die Wirksamkeit dieser Batterie rührt von der Bekleidung ihrer Platten mit respective Sauerstoff und Wasserstoff her. Der Unterschied zwischen ihr und der gewöhnlichen Ladungssäule besteht bloß in der Art, wie den Platten das Gas zugeführt wird. Bei der Ladungssäule werden die Gase an den Platten selbst entwickelt, bei der Gasbatterie hingegen werden sie zuvor außerhalb der Batterie erzeugt, und dann erst mit den Platten in Berührung gesetzt.

Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maaße. Um ein 83
absolutes Maaß für galvanische Ströme zu erhalten, haben wir nur ihre Wirkung auf die Magnetnadel mit der Wirkung des Erdmagnetismus zu vergleichen; am einfachsten läßt sich aber dann diese Vergleichung nach Weber's Methode ausführen, wenn man die ablenkende Kraft kreisförmiger Ströme durch den Versuch bestimmt.

Die Fig. 174 stelle die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, daß die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes gelegte horizontale Linie *A B* auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Untersuchen wir nun zunächst, welche Wirkung der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in irgend einem Punkte der Linie *AB*, etwa in *c*, befindet.

Fig. 174.



Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung cf zu bewegen; die Größe dieser bewegenden Kraft läßt sich durch

$$\frac{g\gamma\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn g die Stärke des Kreisstromes, γ die Intensität des Magnetismus in dem magnetischen Theilchen bei c, und φ die Länge des elementaren Stromtheilchens bei d bezeichnet. Setzen wir aber den Halbmesser des Kreises gleich y, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + y^2$, und der obige Werth für die bewegende Kraft cf wird

$$\frac{g\gamma\varphi}{x^2 + y^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe, so kann man leicht den Werth der Componente cg bestimmen, denn offenbar verhält sich $cf : cg = cd : cm$, oder $cf : cg = l : y$, mithin ist $cg = \frac{cf \cdot y}{l}$ $= \frac{cf \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, oder endlich

$$cg = \frac{g\gamma\varphi y}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\Pi y$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen γ in der Richtung der Axe zu bewegen suchen,

$$\frac{2\Pi y^2 \gamma g}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad a).$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir:

1) daß die Wirkung eines Kreisstromes auf irgend ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält, wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{(x^2 + y^2)}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, und

2) daß die Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers, oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalte des umströmten Kreises proportional ist.

Die Formel

$$\frac{2\Pi y^2 \gamma g}{(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

kann aber auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreisstrom eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Axe AB zu drehen strebt, die

Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf dieselbe Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurückzuführen, ist alsdann

$$T\,\gamma.$$

Der Quotient beider Größen muß aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also $\frac{2\,\Pi\,y^2\,g}{T(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = tang.\,u.$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Axe AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes ist. Für den Fall nun, daß die kleine Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = o$, und $y = R$, wenn R den Halbmesser des Kreisstromes bezeichnet, wir erhalten alsdann $\frac{2\,\Pi\,R^2\,g}{T\,R^3} = tang.\,u,$

daraus $$\Pi\,R^2\,g = \frac{T\,R^3\,tang.\,u}{2},$$

und endlich $$g = \frac{T\,R\,tang.\,u}{2\,\Pi}.$$

Wir haben jetzt einen Werth für g gefunden und müssen nur noch die nähere Bedeutung desselben ermitteln.

Wir haben oben Seite 44 gesehen, wie man aus den Schwingungen eines Magnetstabes das Drehungsmoment C bestimmen kann, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn derselbe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht. Dieses Drehungsmoment ist aber ein Produkt des Momentes des Magneten M und der Intensität T des Erdmagnetismus. Nun äußert der Erdmagnetismus auch ein Bestreben, einen kreisförmigen Strom, der im magnetischen Meridiane steht, rechtwinklig auf denselben zu stellen, und dieses Drehungsmoment ließe sich auch durch Schwingungsversuche ausmitteln, wenn man nur den Kreisstrom beweglich genug machen könnte.

Nun aber giebt es, da ja der Werth T schon bekannt ist, noch ein anderes Mittel, den Werth von M für einen kleinen Magnetstab zu bestimmen. Wir haben oben gesehen, daß, wenn man einen kleinen Magneten in eine solche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 30, Seite 39 zeigt, alsdann $\frac{M}{T} = R^3\,tang.\,v,$

wenn v die beobachtete Ablenkung der Nadel und r die Entfernung des Magneten von derselben bezeichnet; aus einem solchen Ablenkungsversuche kann man also den Werth von M bestimmen, denn es ist

$$M = T\,R^3\,tang.\,v.$$

Bringt man aber denselben Magneten in die Fig. 29 dargestellte Lage gegen die Nadel, so erhält man eine solche Ablenkung u der Nadel, daß

bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt ſo groß iſt, als die Tangente der in der erſten Lage beobachteten Ablenkung v; hat man alſo bei der Fig. 29 dargeſtellten Lage die Ablenkungsverſuche gemacht, ſo iſt

$$N = T \cdot R^3 \frac{tang.\ u}{2}.$$

Da man nun mit einem galvaniſchen Kreisſtrome auf dieſelbe Weiſe Ablenkungsverſuche machen kann, ſo kann man alſo auch das Moment G für einen ſolchen Strom eben ſo gut beſtimmen, wie den Werth M für einen Magneten; es iſt nämlich

$$G = \frac{T R^3\ tang.\ u}{2};$$

wir haben aber eben geſehen, daß auch

$$\Pi R^2 g = \frac{T R^3\ tang.\ u}{2}$$

das Moment eines Kreisſtromes iſt, alſo dem Inhalte der umſtrömten Kreisfläche proportional. Das Moment eines Kreisſtromes iſt demnach

$$G = \Pi R^2 g,$$

das Moment eines Kreisſtromes von gleicher Stromſtärke, welchen die Einheit der Fläche umſtrömt, für welchen alſo $\Pi R^2 = 1$, haben wir alſo

$$g = G,$$

es drückt alſo der Werth g das Moment eines Kreisſtromes aus, welcher die Flächeneinheit umſtrömt. Die Einheit der Stromintenſität iſt alſo diejenige Stromſtärke, welche, die Einheit der Fläche umkreiſend, in die Ferne dieſelbe Wirkung hervorbringt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Wenn z. B. ein Strom in der Tangentenbouſſole, Fig. 159, deren Radius 100^{mm} beträgt, eine Ablenkung von 54^0 hervorbringt, ſo iſt für dieſen Strom

$$g = T \cdot \frac{100 \cdot tang.\ 54^0}{2\,\Pi} = T \cdot 21{,}9,$$

ein Strom von dieſer Stärke würde alſo, wenn er die Flächeneinheit umkreiſ't, auf die Entfernung 1 eine 21,9mal ſtärkere Wirkung ausüben, als der horizontale Theil des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte. Geſetzt, der Werth von T ſey für dieſen Ort 1,774, ſo wäre demnach

$$g = 38{,}85,$$

d. h. ein Strom von dieſer Stärke, die Flächeneinheit umkreiſend, wirkt in die Ferne 38,85mal ſo ſtark, wie die Einheit des freien Magnetismus.

84 **Das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers.** Wie ſchon früher erwähnt wurde, hat Faraday das wichtige Geſetz nachgewieſen, daß, wenn eine Flüſſigkeit durch einen galvaniſchen Strom zerſetzt wird,

daß alsdann die Quantität der zerſetzten Flüſſigkeit der zu dieſer Zerſetzung verwandten Stromquantität proportional ſey, daß alſo die durch den Strom hervorgebrachte chemiſche Zerſetzung ein Maaß für die Quantität der circulirenden Elektricität iſt. Nun aber wird die Stromkraft auch durch die magnetiſchen Wirkungen des Stromes gemeſſen, und beide Effecte ſind ſtets einander proportional.

Wenn man in den Schließungsbogen einer galvaniſchen Kette einen Waſſerzerſetzungsapparat und die Weber'ſche Tagentenbouſſole einſchaltet, ſo wird in einer gegebenen Zeit eine beſtimmte Quantität Waſſer zerſetzt, während man eine Ablenkung v der Nadel beobachtet. Wenn man nun auf irgend eine Weiſe die Quantität der Waſſerzerſetzung vermehrt, ſo wird die magnetiſche Wirkung in demſelben Verhältniß zunehmen; hätte man etwa durch Anwendung einer kräftigen Säule in derſelben Zeit zweimal, dreimal ſo viel Waſſer zerſetzt, ſo würde auch die Tagente des Ablenkungswinkels zweimal, dreimal größer geworden ſeyn.

Faraday hat ferner gezeigt, daß chemiſch äquivalente Maſſen verſchiedener Körper zu ihrer Zerſetzung gleiche Stromquantitäten gebrauchen, oder mit anderen Worten, daß die elektrochemiſchen Aequivalente den gewöhnlichen chemiſchen Aequivalenten proportional ſind. Will man die elektrochemiſchen Aequivalente in Zahlen ausdrücken, ſo iſt vor allen Dingen eine Einheit für den galvaniſchen Strom zu beſtimmen und dann zu ermitteln, wie viel Waſſer in der Zeiteinheit durch die Stromeinheit zerſetzt wird, um ſo das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers zu beſtimmen.

In der vorigen Nummer haben wir geſehen, wie man die Stromkraft auf ein abſolutes Maaß zurückführen kann, und die dort zu Grunde gelegte Einheit der Stromkraft kann auch dienen, um das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers in abſoluten Zahlen auszudrücken.

Ein und derſelbe Strom werde durch einen Waſſerzerſetzungsapparat und zugleich durch die Weber'ſche Tangentenbouſſole geleitet; die Quantität des in t Sekunden zerſetzten Waſſers ſey mit w bezeichnet, g ſey die nach der vorigen Nummer berechnete Stromkraft, ſo iſt $\frac{w}{t}$ die Quantität des in einer Sekunde zerſetzten Waſſers und

$$\frac{w}{g\,t}$$

das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers, d. h. die Quantität des Waſſers, welches während der Zeiteinheit (der Sekunde) durch den galvaniſchen Strom zerlegt wird, der zur Einheit der Stromkraft feſtgeſetzt worden iſt.

Weber hat in dieſem Sinne das elektrochemiſche Aequivalent des Waſſers durch eine äußerſt genaue Verſuchsreihe beſtimmt und dafür den Werth

0,000009376

gefunden, d. h. die in der vorigen Nummer bestimmte Stromeinheit zersetzt in einer Sekunde 0,000009376 Gramm Wasser.

Weber hat zur Bestimmung des elektrochemischen Aequivalentes des Wassers den Werth von g nach einer Methode bestimmt, deren Betrachtung uns hier zu weit führen würde (Poggendorff's Annalen Bd. LV. S. 181.)

Bunsen hat das elektrochemische Aequivalent des Zinks mit Hülfe der Weber'schen Tangentenbousole bestimmt; der Versuch wurde auf folgende Weise angestellt. Die Thonzelle einer einfachen Kohlenzinkkette wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, ein amalgamirter Zinkstreifen statt des Zinkcylinders in diese eingetaucht, und dann die Kette durch die Tangenbousole geschlossen. Die beobachtete Ablenkung betrug anfangs 29°42′, nahm aber 1 Minute 45 Sekunden lang allmälig bis auf 26°21′ ab und blieb dann constant. Vom Beginne des Stromes an wurde alle 15 Sekunden die Ablenkung der Nadel und zwar 5 Minuten lang beobachtet; das Mittel aus den auf diese Weise beobachteten 21 Ablenkungen, von denen die letzten 14 sämmtlich 26°21′ betrugen, ist 26°58,5′; während der 5 Minuten, in denen die Kette geschlossen war, wurden aber 0,2982 Gramm Zink aufgelöst.

Bei einem ähnlichen, etwas anders arrangirten Versuche war das Mittel aus den 21 abgelesenen Ablenkungen 40°11,6′, und während 5 Minuten wurden 0,5055 Gramm Zink aufgelöst.

Die in beiden Versuchen aufgelösten Mengen von Zink verhalten sich wie 1 : 1,695; die Tangenten der mittleren Ablenkungswinkel aber wie 1 : 1,661; die chemischen und die magnetischen Wirkungen des Stroms sind also in der That fast in gleichem Verhältniß gewachsen. Suchen wir nun nach diesen Versuchen das elektromotorische Aequivalent des Zinks zu berechnen.

Die Stromstärke berechnen wir nach der Formel:

$$g = \frac{1}{2\,\Pi}\,T R\,tang.v.$$

R war bei der zu diesen Versuchen angewandten Tangentenbousole 204 Millimeter; da nun v für die erste Versuchsreihe 26°58,5′, für die zweite aber 40°11,6, ist, so ergiebt sich für die erste Versuchsreihe

$$g = 30{,}169,$$

für die zweite

$$g = 50{,}099,$$

wenn man den Werth von T für Marburg $= 1{,}827$ setzt.

Im Allgemeinen ist zwar der Werth von T für Marburg 1,88, in dem eisenhaltigen Lokale jedoch, in welchem die Versuche angestellt wurden, ergab sich aus besonders deshalb angestellten Versuchen für T der Werth 1,827.

Da während 300 Sekunden bei der ersten Versuchsreihe 0,2982 Gramm Zink aufgelöst worden waren, so kommt auf eine Sekunde $\frac{0,2982}{300} =$ 0,000994; dividirt man diese Zahl durch die mittlere Stromstärke 31,045 der ersten Versuchsreihe, so erhält man für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003294.

Aus der zweiten Versuchsreihe ergiebt sich auf dieselbe Weise für dieses Aequivalent

0,00003364.

Nun verhält sich das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinks wie 112,48 : 403,23; da nun Weber für das elektrochemische Aequivalent des Wassers 0,000009376 gefunden hat, so ergäbe sich demnach für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003369,

was mit dem oben berechneten in der That sehr nahe übereinstimmt.

Vierte Abtheilung.

Vom Elektromagnetismus.

Erstes Kapitel.

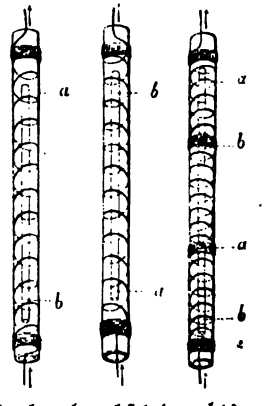
Magnetische Wirkungen des Stromes.

Wir haben zwar schon oben angeführt, daß der elektrische Strom im Stande sey, die Magnetnadel abzulenken, wir sind aber alsbald, ohne diese magnetischen Wirkungen weiter zu verfolgen, zu den Anwendungen übergegangen, welche man von der Ablenkung der Magnetnadel gemacht hat, um die Gesetze der Stromstärke zu ermitteln; der weiteren Betrachtung der magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes ist das folgende Kapitel gewidmet.

Magnetisirung durch den galvanischen Strom. Der elektrische 85
Strom wirkt nicht allein auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, die noch verbundenen magnetischen Flüssigkeiten zu trennen. Um die Wirkung des Stromes auf das weiche Eisen zu zeigen, braucht man den Draht nur in Eisenfeile zu tauchen oder mit Eisenfeile zu be-

ſtreuen, während der galvaniſche Strom hindurchgeht. Die Eiſenfeile bleibt an dem Drahte hängen, bis man den Strom unterbricht. Kleine Stahlnadeln kann man zu bleibenden Magneten machen, wenn man ſie quer über den Leitungsdraht hält; damit aber der Strom recht wirkſam ſey, muß man ihn zu dieſem Zweck transverſal um die Nadel herumleiten, wie dies bei der folgenden Anordnung der Fall iſt. Man windet einen Kupferdraht ſchraubenförmig um eine Glasröhre, in welche man eine Stahlnadel legt (Fig. 175). Läßt man nun einen Strom durch die Windungen des Drahtes hindurchgehen, ſo wird dadurch die Nadel bleibend magnetiſch, und zwar braucht der Strom nur einen Augenblick hindurchzugehen, um die Nadel ſo vollſtändig zu magnetiſiren als es nur möglich iſt.

Fig. 175. Fig. 176. Fig. 177.



Man unterſcheidet rechtsgewundene (Fig. 175) und linksgewundene Schraubendrähte (Fig. 176). Rechtsgewundene Schraubendrähte ſind diejenigen, bei welchen die Windungen gerade ſo laufen wie bei einem Korkzieher oder einer gewöhnlichen Schraube.

Bei rechtsgewundenen Schraubendrähten bildet ſich der Nordpol (das Südende) der Nadel an dem Ende, wo der poſitive Strom eintritt, bei linksgewundenen aber nach dem Ende hin, wo er austritt. In den Figuren iſt der Nordpol mit *b*, der Südpol mit *a* bezeichnet.

Wenn man auf demſelben Glasrohre den Draht abwechſelnd rechts und links aufwindet, wie Fig. 177, ſo bilden ſich Folgepunkt in der Nadel.

Fig. 178.

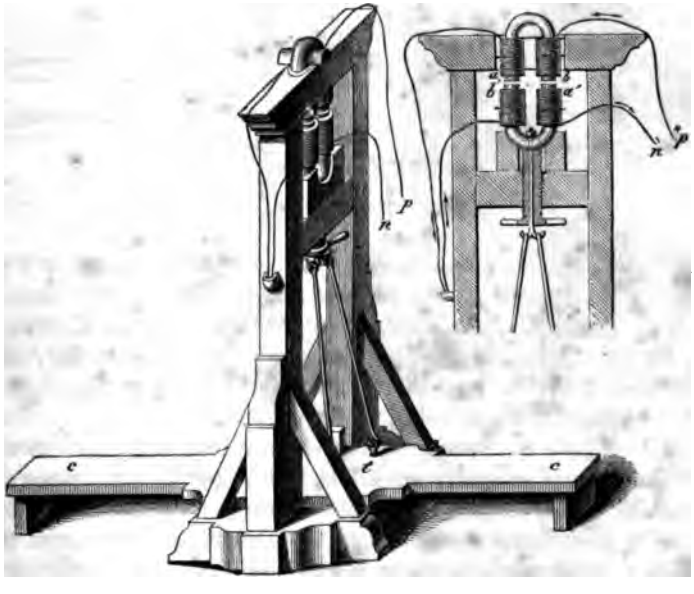
Aus weichem Eiſen kann man mittelſt des galvaniſchen Stroms Magnete machen, welche alle Stahlmagnete an Stärke weit übertreffen. Man braucht nur ein ſtarkes hufeiſenförmig gebogenes Eiſen mit dickem Kupferdraht in der Weiſe zu umwickeln, wie man Fig. 178 ſieht. Der Kupferdraht muß mit Seide überzogen ſeyn, damit der Strom ſich nicht ſeitwärts von einer Windung zur andern (die Windungen liegen dicht neben einander) und nicht in das Eiſen übergehen kann, ſondern den Draht ſeiner ganzen Länge nach durchlaufen muß. Der Draht iſt um beide Schenkel des Hufeiſens in gleicher Richtung, um beide etwa rechts, gewunden; wenn alſo der poſitive Strom bei *a* eintritt, ſo wird ſich bei *a* ein Nordpol, bei *b* ein Südpol bilden. Mittelſt eines Ankers kann

man Gewichte an einen ſolchen Magneten anhängen. Ein Magnet dieſer Art, deſſen Eiſenkern 6 — 8 Centimeter Durchmeſſer hat und an welchem jeder Schenkel ohngefähr 1 bis 1,5 Fuß lang iſt, kann eine Laſt von 800 bis 1000 Pfund tragen, wenn nur der Draht dick genug iſt und ein hinlänglich kräftiger Strom hindurchgeht. Als Elektromotor wendet man mehrere Grove'ſche oder Bunſen'ſche Elemente an, die zu einem großplattigen Elemente verbunden ſind. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß das Eiſen faſt ganz aufhört, magnetiſch zu ſeyn, ſobald der galvaniſche Strom aufhört.

Die Größe der magnetiſchen Wirkung eines Stromes hängt lediglich von der Quantität der Elektricität ab, weshalb man auch zu den eben beſchriebenen Elektromagneten ein einfaches Plattenpaar anwendet; weil aber der Strom einer einfachen Kette nur eine ſehr geringe Intenſität hat, ſo muß der Draht, der den Strom um das Eiſen herumleitet, ſehr dick ſein. Man kann aber auch Ketten von geringerer Quantität, aber größerer Intenſität anwenden, um Elektromagnete zu machen, nur muß man alsdann den Draht, der hier dünner ſeyn kann, mehrmals um den Eiſenkern herumwinden.

Ein Elektromagnet dieſer Art, welches über 2000 Pfund trägt, iſt Fig. 179 und Fig. 180 dargeſtellt. Es beſteht aus zwei runden Eiſen-

Fig. 179. Fig. 180.

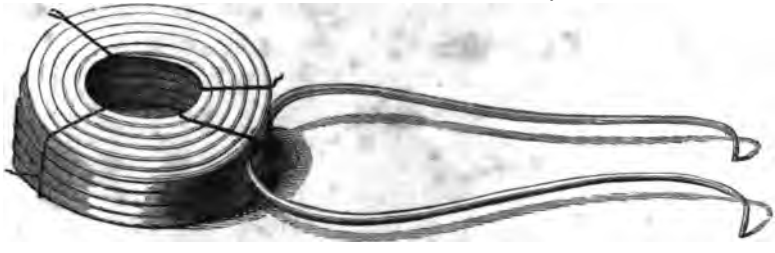


ſtücken von hufeiſenförmiger Geſtalt, welche 8 bis 10 Centimeter im Durchmeſſer und eine Totallänge von 60 bis 80 Centimeter haben. Die beiden Arme eines jeden Hufeiſens ſind mit einem ohngefähr 1000 Meter langen und $^2/_3$ Millimeter dicken mit Seide überſponnenen Kupferdraht umwunden. Ein und derſelbe Strom legt nun den ganzen Weg durch den 1000 Meter langen Draht zurück, deſſen Windungen von der Art ſind, daß die entgegengeſetzten Pole einander gegenüberſtehen. Als Elektromotor dient für dieſen Apparat eine kräftige Kette von 24 Paaren.

Sobald der Strom zu circuliren beginnt, wird der bewegliche Elektromagnet *a' b'* durch den feſten *a b* gehoben, und wenn ſie einmal an einander haften, kann man das bedeutende Gewicht von 1000 Kilogramm auf das Brett *c c c* auflegen.

Ebenſo wie man durch den galvaniſchen Strom im weichen Eiſen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, iſt man auch im Stande, mit Hülfe deſſelben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Eine zu dieſem Zweck beſonders geeignete Vorrichtung iſt die in Fig. 181 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Fig. 181.



Ein ungefähr 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann zu einer Drahtrolle gewunden, wie die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmeſſer der innern Höhlung $1^1/_2$ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlſtab magnetiſiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'ſchen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, ſteckt man den zu magnetiſirenden Stahlſtab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden auf und nieder, und wenn er ſich wieder mit ſeinem mittleren Theil in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab vollkommen magnetiſirt herausgenommen.

Es iſt gut, den Stahlſtab oben und unten mit einem Stück weichen

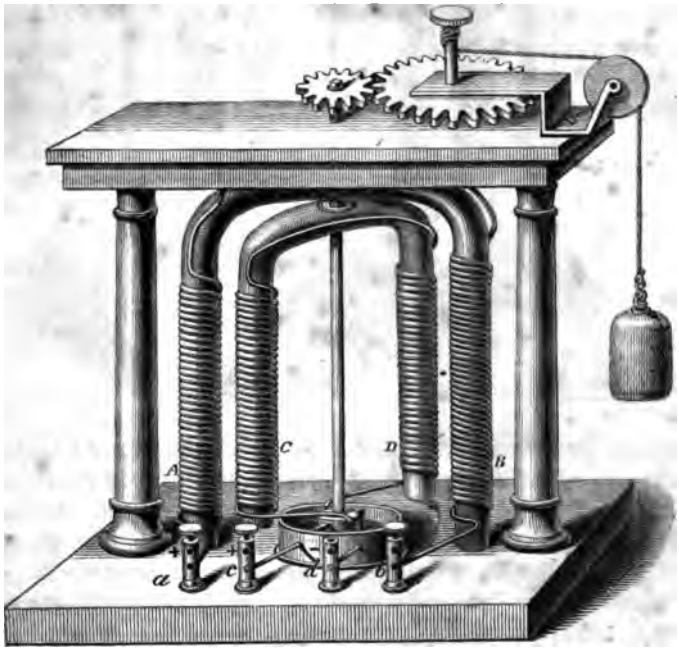
Eisen und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Elias wandte zu seinen Versuchen ein Grove'sches Zink-Platinelement an, welches $\frac{1}{3}$ Quadratfuß wirksame Platinoberfläche hatte.

Die Wirkung dieser Vorrichtung ist so kräftig, daß man mit Hülfe derselben die Pole eines starken Magnetstabes stets umkehren kann.

Benutzung des galvanischen Stromes als bewegende Kraft. 86
Die kräftigen magnetischen Wirkungen, welche der elektrische Strom hervorzubringen im Stande ist, führten auf die Idee, denselben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 182 zeigt einen Apparat, welcher sehr

Fig. 182.



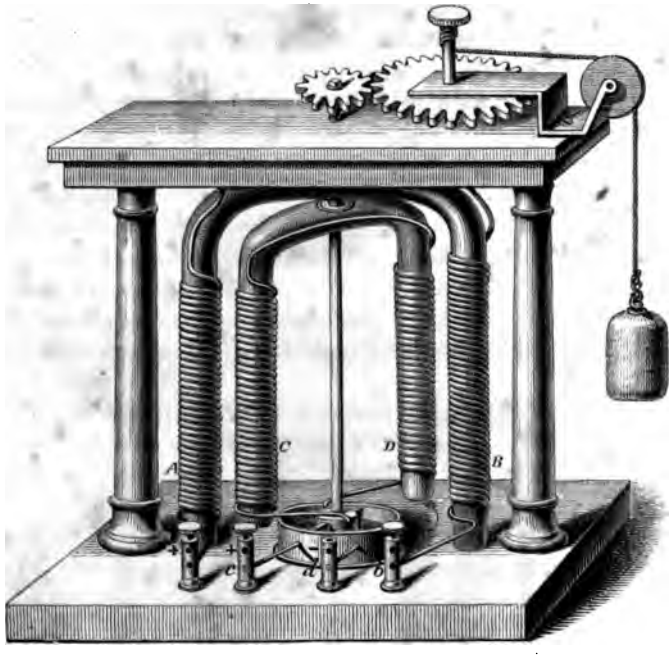
geeignet ist, zu zeigen, wie man durch die magnetisirende Wirkung des galvanischen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

AB ist ein hufeisenförmig gebogenes, an dem Gestelle befestigtes weiches Eisen, welches mit Kupferdraht in der Weise umwickelt ist, wie der Elektromagnet Fig. 178. Das eine Ende des Drahts geht zu dem Messingsäulchen *a*, das andere nach *b*, in *a* und *b* werden aber die Poldrähte

eines kräftigen galvaniſchen Elementes eingeſchraubt, und dadurch das Eiſen *AB* zu einem Magnete gemacht.

Innerhalb des Hufeiſens *AB* iſt ein ähnliches kleineres *CD* angebracht,

Fig. 183.



welches um eine vertikale Axe drehbar iſt. Auch dieſes Eiſen *CD* iſt mit Kupferdraht in der bekannten Weiſe umwunden, die beiden Enden dieſes Drahtes tauchen aber in eine mit Queckſilber gefüllte hölzerne ringförmige Rinne herab. Dieſe Rinne iſt nun durch zwei Scheidewände von Holz oder Elfenbein in zwei Abtheilungen getheilt; die eine iſt durch einen Kupferdraht mit dem Meſſingſäulchen *c*, die andere mit dem Meſſingſäulchen *d* in leitender Verbindung (in *c* und *d* werden die beiden Poldrähte einer einfachen Kette angeſchraubt). Die beiden Abtheilungen der Rinne ſind nun mit Queckſilber ſo weit gefüllt, daß das Niveau deſſelben in jeder Abtheilung zwar über die Scheidewände hinausragt, daß es aber doch nicht aus einer Abtheilung in die andere überfließen kann, was ſehr leicht möglich iſt, weil das Queckſilber in jeder Abtheilung gleichſam einen convexen Tropfen bildet. Die beiden Drahtenden des Elektromagneten *CD* gehen nur grade ſo weit herab, daß das eine in das Queckſilber der einen, das andere in das Queckſilber der andern Abtheilung eintaucht, daß ſie aber

während der Rotation des Elektromagneten *CD* ohne Hinderniß über die Scheidewände der beiden Abtheilungen hinweggehen.

Bei der in Fig. 183 abgebildeten Stellung des Elektromagneten *CD* geht nun, wenn in *c* der positive und *d* der negative Poldraht eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt wird, der positive Strom von *c* in die linke Abtheilung der Rinne, von da durch den Kupferdraht um das bewegliche Hufeisen herum von *D* nach *C*, von *C* aus in die rechte Abtheilung der Rinne und von dieser nach *d*. Bei dieser Stellung wird der Pol *C* von *A*, und *D* von *B* angezogen, wodurch eine rotirende Bewegung des Elektromagneten *CD* eingeleitet wird. Wenn aber nun *C* eben bei *A* und *D* bei *B* ankommt, so gehen die beiden Drahtenden des inneren Elektromagneten über die Scheidewände hinweg; der Strom, welcher *CD* magnetisch macht, wird für einen Moment unterbrochen, sobald aber die Drahtenden aus einer Abtheilung in die andere übergegangen sind, geht der Strom durch den um *CD* gewundenen Kupferdraht in entgegengesetzter Richtung hindurch, der Pol *C* wird nun von *A*, *D* von *B* abgestoßen, während sich *C* und *B*, *D* und *A* anziehen, dadurch wird die Rotation des inneren Elektromagneten fortgesetzt, bis *C* bei *B* und *D* bei *A* ankommt, wo alsdann durch eine abermalige Umkehrung der Pole des inneren Elektromagneten die Rotation desselben in unveränderter Richtung fortgesetzt wird.

An der Umdrehungsaxe des inneren Elektromagneten ist ein Zahnrad befestigt, welches in ein zweites von größerem Halbmesser eingreift. Um die Axe dieses zweiten Zahnrades ist nun eine Schnur geschlungen, die über eine Rolle weggeht, und an der endlich ein Gewicht hängt, welches durch die Rotation des inneren Elektromagneten gehoben wird.

Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Vervollkommnung des von Ritchie construirten Rotationsapparates, bei welchem ein Stahlmagnet die Stelle des äußeren Elektromagneten ersetzt, während das rotirende Eisen die Form einer graden Stabes hat, welcher mit einer Drahtwindung umgeben ist, deren Enden in eine Queckſilberrinne eintauchen, wie in unserm Apparate, und dessen Rotation ebenfalls durch die nach jeder halben Umdrehung erfolgende Umkehrung der Pole unterhalten wird.

Die bis jetzt namentlich von Jacobi in Petersburg und von Wagner in Frankfurt gemachten Versuche, um den galvanischen Strom praktisch als bewegende Kraft anzuwenden, haben bis jetzt die gewünschten Resultate nicht geliefert.

Ein Hauptgrund, daß man namentlich mit größeren Apparaten keine günstigen Resultate erhielt, liegt darin, daß der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Selbst das weichste Eisen, welches von einer elektrischen Spirale umgeben zum Elektromagneten wird, ist

nicht im Stande, ſeine Pole ſo ſchnell zu wechſeln, als man den elektriſchen Strom in der Spirale umkehren kann; je größer die Eiſenmaſſe iſt, deſto träger iſt ſie in dieſer Beziehung, und daher kommt es auch, daß größere Apparate verhältnißmäßig ſchlechtere Reſultate geben als kleinere Modelle.

Dieſen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eiſens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer auf eine ſehr ſinnreiche Weiſe zu umgehen gewußt, indem er die Rotation eines Elektromagneten, deſſen Pole nicht gewechſelt werden, durch den Polwechſel einer elektriſchen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet rotirt.

Fig. 184 ſtellt den Stöhrer'ſchen Apparat dar. *a* und *b* ſind zwei längliche Rahmen, welche von überſponnenem Kupferdraht gebildet ſind, welcher ungefähr 1 Linie im Durchmeſſer hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, ſind durch den gebogenen Draht *c* mit dem des unteren verbunden; die Windungen beider Rahmen ſind der Art, daß ein elektriſcher Strom beide in gleicher Richtung durchläuft. Der ganze aus Drahtwindungen gebildete Rahmen iſt mit ſeidenem Band umwickelt.

Zwiſchen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen iſt ein ſolcher Zwiſchenraum, daß die Umdrehungsaxe des Elektromagneten *d* ſich frei bewegen kann.

Der Eiſenkern des Elektromagneten iſt an jedem Ende mit einer Eiſenplatte verſehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagneten hält, anderentheils aber auch ſehr zur Verſtärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen *a* und *b* und durch die Windungen des Elektromagneten *d* hindurchgeht, ſo wird ſich der Elektromagnet rechtwinklig ſtellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein beſtimmter Pol des Elektromagneten ſich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, ſo würde der Elektromagnet in dieſer Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen, wird aber der Strom in den Rahmen in demſelben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet ſeine vertikale Stellung erreicht hat, ſo wird nun die Rotation fortdauern müſſen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet iſt; es wird alſo eine beſtändige Rotation des Elektromagneten ſtattfinden müſſen, wenn nach jeder halben Umdrehung deſſelben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagneten ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurchgeleitet wird.

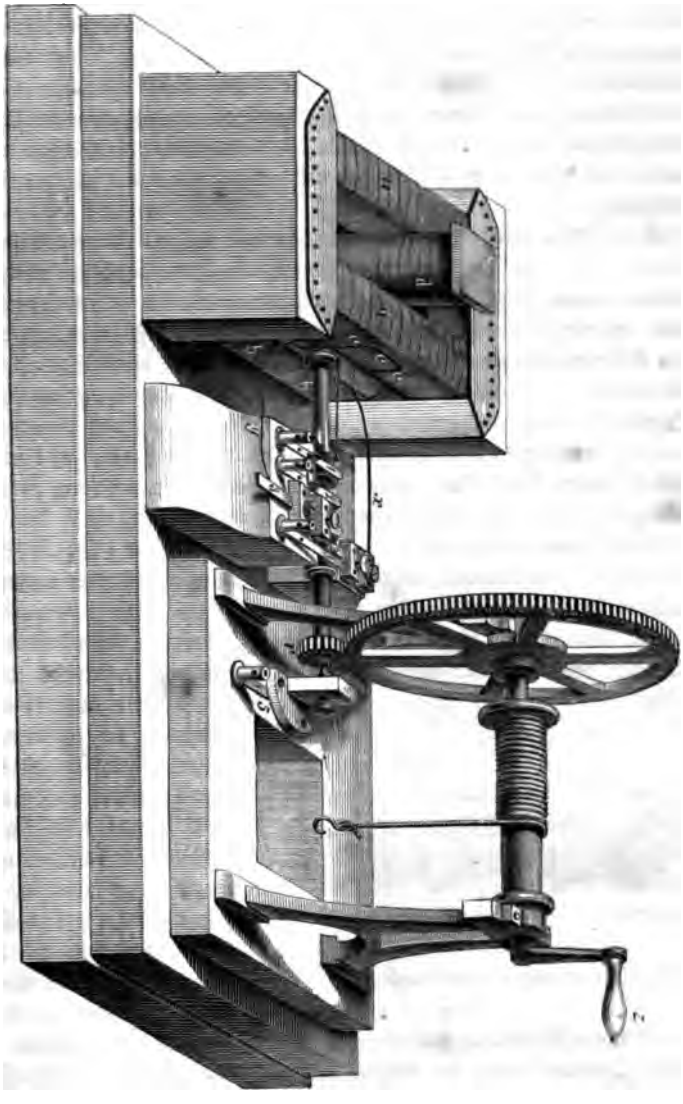


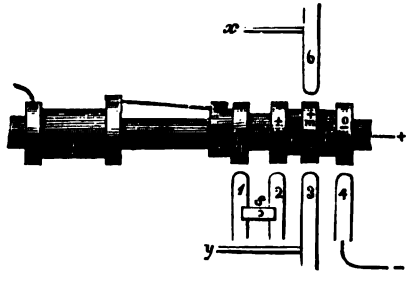
Fig. 184.

Die Umdrehungsaxe des Elektromagneten läuft zwiſchen zwei Stahlſpitzen, von denen nur die eine in unſerer Figur ſichtbar iſt. Dieſe Spitze ſteckt mit einem Schraubengewinde in einem Meſſingpfeiler, deſſen Fuß feſt auf den Boden aufgeſchraubt iſt, ſo daß eine innige Berührung zwiſchen dieſem Meſſingfuße und dem Kupferſtreifen 5 ſtattfindet, auf deſſen anderem Ende ein Meſſingſäulchen ſitzt. In dieſes Säulchen kann der eine Poldraht einer galvaniſchen Kette eingeſteckt und mittelſt einer Schraube feſtgeklemmt werden. (Die Schraube iſt in der Figur weggelaſſen worden; dies Säulchen und ſeine Schraube iſt genau ſo wie das auf der Feder 1 ſtehende.)

Der Strom tritt alſo durch dies Säulchen und den Kupferſtreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eiſenkern des Elektromagneten gelangt. Auf dieſen Eiſenkern iſt nun das eine Drahtende der Spirale aufgeſchraubt, welche um den Eiſenkern herumgewunden iſt; das andere Ende dieſer Spirale iſt auf die Kupferhülſe *f*, welche man Fig. 185 deutlicher ſieht, eingelaſſen. Dieſe Kupferhülſe ſteckt nicht unmittelbar auf der eiſernen Axe, ſondern ſie iſt von ihr durch eine iſolirende Hülſe getrennt. Der Strom geht alſo aus dem Eiſenkern des Elektromagneten in die Windungen deſſelben, und nachdem er dieſelben durchlaufen hat, gelangt er zur Kupferhülſe *f*, von der er dann zum Commutator geführt wird, welcher bewirkt, daß die Stromrichtung in den Windungen der Rahmen geleitet, nach jeder halben Umdrehung in denſelben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieſes Commutators iſt aus Fig. 185 deutlicher zu erſehen. Von der Kupferhülſe *f* führt ein Kupferdraht zur Eiſenhülſe *g*, welche, wie auch die eiſernen Hülſen *i* und *k*, durch eine hölzerne Hülſe, auf der ſie ſtecken, welche aber nur zwiſchen *h* und *l* freiliegt, vor metalliſcher Berührung mit der Axe geſchützt iſt. Die Hülſe *g* trägt den ganz kreisförmigen metalliſchen Kamm *h*; an dem einen Ende der Hülſe *i* befindet ſich der ganz kreisförmige Kamm *l*, auf der andern Seite von *i* iſt der Kamm *m* befeſtigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm *n*, welcher gleichſam die Fortſetzung von *m* bildet, iſt durch die Hülſe *k* mit dem ganz kreisförmigen Kamm *o* in leitender Verbindung, aber durch eine iſolirende Subſtanz von *m* und *i* getrennt.

Fig. 185.



Auf *h* ſchleift die Feder 1, auf *l* die Feder 2, auf *o* die Feder 4. Die Feder 3 ſchleift oben, die Feder 6 ſchleift unten an dem aus den Theilen *m* und *n* beſtehenden Kamm und zwar ſo, daß *n* und 3 in Berührung ſind, wenn *m* und 6 ſich berühren, wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, ſo kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der poſitive Pol der Kette ſey in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeſchraubt, ſo geht der poſitive Strom, nachdem er den Elektromagneten umkreiſt hat, von *f* nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querſtreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* iſt alſo gleichſam ein + Pol, von *m* geht der poſitive Strom auf diejenige Feder über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, ſo daß alſo *n* gleichſam der negative Pol der Kette iſt.

Wenn *m* mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung iſt, ſo tritt alſo der poſitive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rahmen ein, und gelangt, nachdem er dieſe Windungen durchlaufen hat, durch den Draht *y* und die Feder 3 nach *n*; nach einer halben Umdrehung aber kommt *m* mit 3 in Berührung, jetzt tritt der poſitive Strom durch die Feder 3 und den Draht *y* in die Windungen der Rahmen ein, durch *x* und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet alſo eine Umkehrung der Stromrichtung und der Rahmen Statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagneten bewerkſtelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten iſt das kleine Zahnrad *r* befeſtigt, welches in ein größeres eingreift. Um die Axe dieſes größeren Zahnrades iſt eine Schnur geſchlungen, an welcher ein paſſendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird.

Sollte der Apparat nun zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, ſo könnte er etwas einfacher ſeyn; *g* und *h* und die Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, *f* und *i* direct durch einen Kupferdraht verbunden ſeyn; bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, läßt er ſich aber auch noch zu anderen Verſuchen anwenden, welche erſt ſpäter beſprochen werden können.

Bei Anwendung einer Zinkkohlenkette, welche 20 Quadratzoll wirkender Kohlenfläche hatte, wurden folgende Reſultate erhalten:

1	Element	hob	1¾	Pfund	in	4	Sekunden	1	Fuß	hoch.
2	»	»	3	»	»	3	»	»	»	»
3	»	»	5	»	»	2½	»	»	»	»
4	»	»	6	»	»	2	»	»	»	»
5	»	»	5¾	»	»	1½	»	»	»	»

Obgleich die Stöhrer'ſchen Apparate günſtigere Reſultate geben, als alle früher zu dieſem Zwecke conſtruirten, ſo ergab ſich doch, daß die Unterhaltungskoſten zu groß ſind, um eine techniſche Anwendung möglich zu machen.

87 **Elektriſche Telegraphen.** Eine andere praktiſche Anwendung, welche man von der ſchnellen Verbreitung elektriſcher Ströme durch iſolirte Metalldrähte und der Magnetiſirung des Eiſens durch elektriſche Ströme gemacht hat, ſind die elektriſchen Telegraphen. Mehrere Phyſiker in Deutſchland beſonders Steinheil, haben verſchiedene höchſt ſinnreiche Vorkichtungen der Art in Vorſchlag gebracht und ausgeführt, wir wollen uns hier jedoch darauf beſchränken, den für die Demonſtration wenigſtens ziemlich einfachen elektriſchen Telegraphen Wheatſtone's zu beſchreiben.

Auf einem Brettchen, Fig. 186, ſind zwei hufeiſenförmig gebogene Stücke von weichem Eiſen befeſtigt, welche mit einem durch Seide iſolirten Kupferdraht in der Weiſe umwunden ſind, daß ſie magnetiſch werden, ſobald ein galvaniſcher Strom dieſe Windungen durchläuft, daß ſie aber augenblicklich ihren Magnetismus verlieren, ſobald der Strom unterbrochen wird.

Das eine Ende des Drahtes, welcher um das links gelegene Hufeiſen gewunden iſt, geht unter dem Brettchen her zu den Meſſingſäulchen *a*, das andere Ende zum Säulchen *b*.

In *a* ſowohl als in *b* iſt nun ein Draht eingeſchraubt; dieſe Drähte führen zu dem oft Stunden weit entfernten Orte, an welchem ſich eine galvaniſche Kette befindet. Bringt man den in *a* eingeſchraubten Leitungsdraht mit dem poſitiven, den in *b* eingeſchraubten Draht mit dem negativen Pole jener galvaniſchen Kette in Berührung, ſo wird das Hufeiſen ſogleich magnetiſch; man braucht nur die Berührung des einen dieſer Drähte mit dem einen Pol der Kette abwechſelnd herzuſtellen und zu unterbrechen, um den Magnetismus im Hufeiſen abwechſelnd zu erzeugen und wieder zu vernichten.

Von dem Orte, an welchem die galvaniſche Säule aufgeſtellt iſt, geht aber ein dritter Draht aus, welcher zum Meſſingſäulchen *c* führt; nach *b* und *c* laufen aber unter dem Brette her die Enden der Drahtwindungen, welche um das rechtsgelegene Hufeiſen herumgehen; dieſes kann alſo ebenfalls durch eine ganz entfernt bei der galvaniſchen Kette befindliche Perſon abwechſelnd magnetiſch und unmagnetiſch gemacht werden.

Dicht vor den Polen des Hufeiſens auf der rechten Seite iſt nun eine Eiſenplatte angebracht, welche an ihrem unteren Ende um zwei Zapfen, wie eine Thür um die Angel, beweglich iſt; an dieſer Eiſenplatte iſt ein in die Höhe gehender Stab befeſtigt, welcher oben den horizontalen Querſtab *d* trägt.

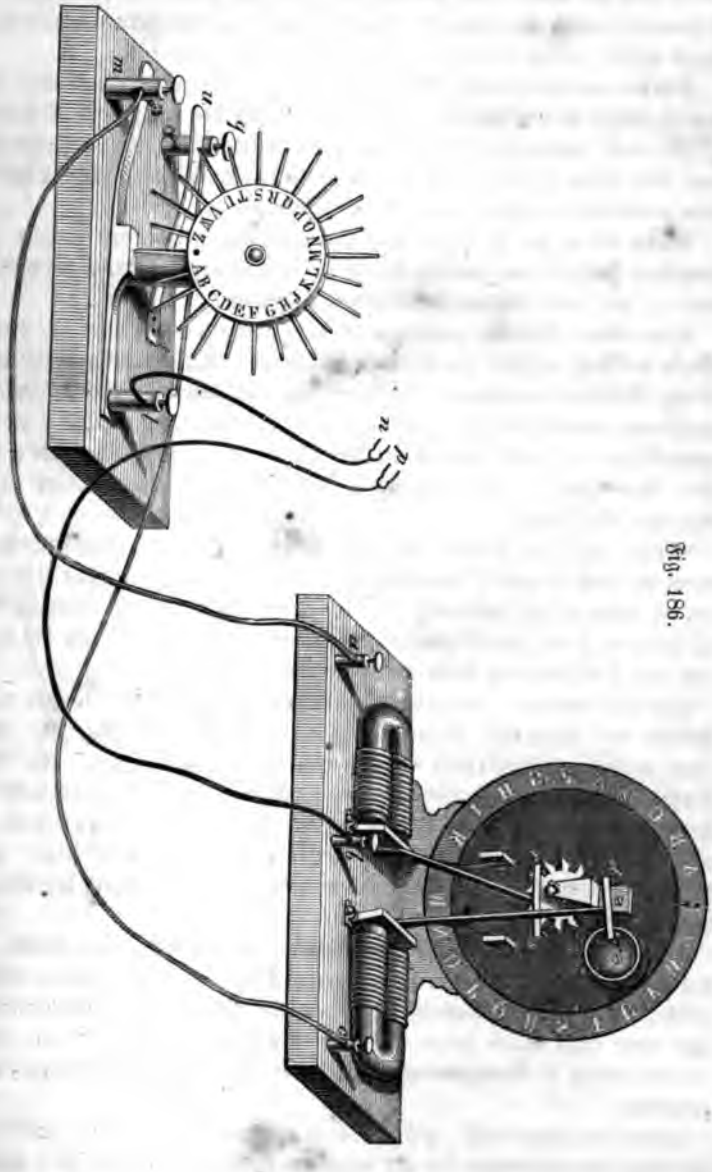


Fig. 186.

Sobald das Hufeiſen magnetiſch wird, wird die Eiſenplatte angezogen, ſobald aber der magnetiſche Zuſtand des Hufeiſens wieder aufhört, wird die Eiſenplatte durch eine ſchwache Feder, welche gegen den aufwärts gehenden Stab drückt, wieder von den Polen des Hufeiſens entfernt.

Durch eine abwechſelnde Unterbrechung und Wiederherſtellung des um das Hufeiſen herumgeleiteten Stromes wird alſo der horizontale Querſtab *d* hin- und herbewegt. An jedem Ende dieſes Querſtabes befindet ſich nun eine kleine Kugel, welche bei jedem Hin- und Hergang an ein Glöckchen anſchlagen, welches unſere Figur deutlich zeigt.

Wenn die an der Volta'ſchen Kette ſtehende Perſon den Strom abwechſelnd herſtellt und unterbricht, ſo iſt ſie alſo im Stande, dadurch Signale an dem weit entfernten Glöckchen zu geben.

Dem andern Hufeiſen gegenüber iſt eine ähnliche Eiſenplatte mit einem Stabe befeſtigt, welcher den Querſtab *rs* trägt. An jedem Ende deſſelben iſt ein Stäbchen angebracht; bei dem Hin- und Hergange der Eiſenplatte greift nun abwechſelnd das eine und das andere Stäbchen in die Zähne eines Rades ein, und zwar iſt die Einrichtung ſo getroffen, daß bei jedem Hin- und Hergang das Rad um 1 Zahn weiter geſchoben wird. Das Rad hat 12 Zähne.

Wenn alſo die Perſon an dem Volta'ſchen Apparate die Kette durch die nach *b* und *a* gehenden Drähte ſchließt, ſo wird das Zahnrad um ½ Zahn weiter geſchoben, bei der Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn u. ſ. w.; jede Schließung der Kette ſchiebt das Rad um ½ Zahn und jede Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn weiter.

Die Axe unſeres Zahnrades geht nun durch den Mittelpunkt einer Scheibe von Eiſenblech, an welcher auch das Glöckchen befeſtigt iſt. Wir ſehen in unſerer Figur dieſe Scheibe von der hinteren Seite. Auf dem Rande dieſer Scheibe, und zwar auf der vorderen uns abgewendeten Seite, ſind nun 24 Zeichen, ein Punkt und 23 Buchſtaben des Alphabets (*x* und *y* fehlen) in gleichen Abſtänden angebracht. Unſere Figur zeigt dieſe Buchſtaben ſo, wie man ſie ſehen würde, wenn der Rand der Scheibe durchſichtig wäre.

Die durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Axe, um welche ſich das Zahnrad dreht, trägt an der vorderen Seite der Scheibe einen Zeiger, welcher durch die Fortſchiebung des Zahnrades ebenfalls fortgeſchoben wird; und zwar wird dieſer Zeiger bei jeder Schließung der Kette um einen, und bei jedem Oeffnen derſelben abermals um einen Buchſtaben weiter geſchoben.

Wenn der Zeiger auf . geſtellt iſt, ſo wird er bei dem erſten Schließen der Kette auf *A* ſpringen, bei der folgenden Oeffnung der Kette aber ſpringt er auf *B*, bei einer abermaligen Schließung auf *C* u. ſ. w. Durch

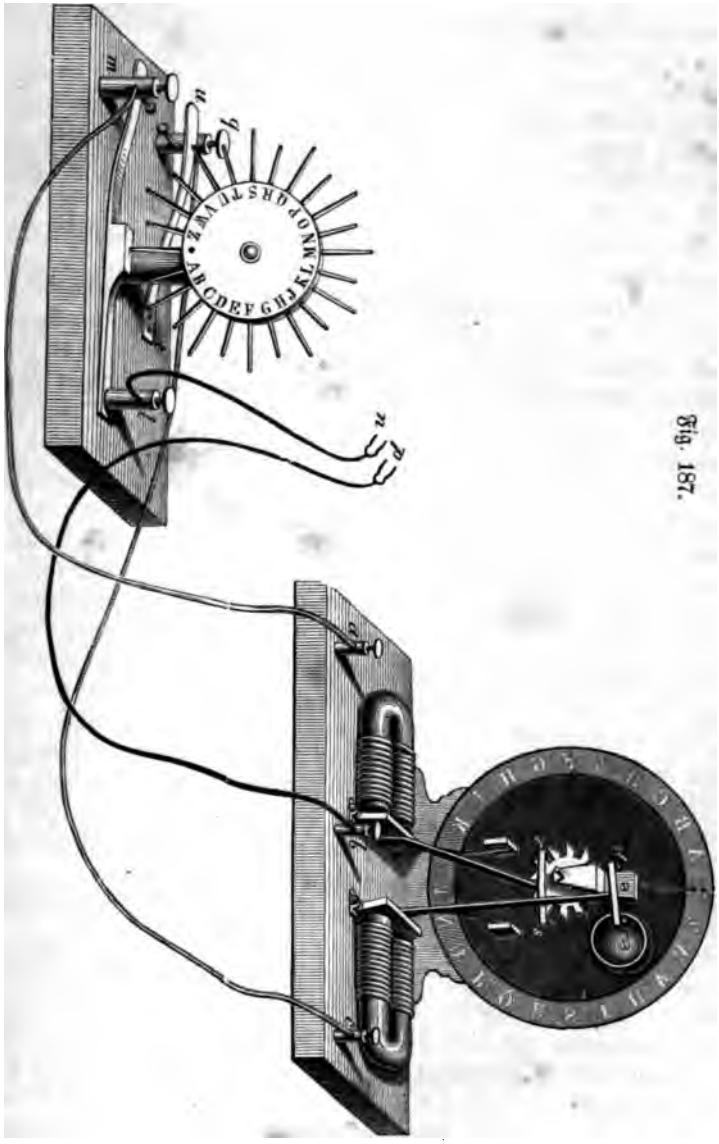


Fig. 187.

abwechselnde Schließung und Unterbrechung der Kette kann also die an dem Volta'schen Apparat stehende Person den Zeiger bis zu jedem beliebigen Buchstaben springen lassen, alsdann mit dem Glöckchen ein Zeichen geben und so fort jedes beliebige Wort buchstabiren.

Hierbei wäre aber sehr leicht ein Irrthum möglich; wenn sich die signalisirende Person im Zählen der Schließungen und Unterbrechungen irrt, so steht der Zeiger auf einem andern als dem beabsichtigten Buchstaben.

Um solche Irrthümer zu vermeiden, ist dicht bei der Volta'schen Kette noch ein Apparat eingeschaltet, welchen der Strom durchlaufen muß, und welcher dazu dient, die Schließungen und Unterbrechungen der Kette gehörig zu reguliren.

Dieser Apparat ist in Fig. 187 unten links dargestellt; *p* und *n* sind die beiden Pole der Volta'schen Kette, von *p* geht ein übersponnener Kupferdraht direkt zu dem Messingsäulchen *b* des Apparates, an welchem die buchstabirten Worte abgelesen werden. Dieser Draht ist in unserer Figur ganz schwarz. Vom negativen Pol der Kette geht ein kurzer Draht zum Säulchen *l* des Regulirungsapparates. An diesem Apparate befinden sich nun noch zwei andere Säulchen *m* und *q*. In *m* wird der von *a*, in *q* wird der von *c* kommende Kupferdraht eingeschraubt.

Durch einen unter dem Brettchen herlaufenden Draht ist *l* mit der Messingfeder *tu* in leitender Verbindung. Wird diese Feder niedergedrückt, so kommt sie mit einem aus dem Säulchen *q* hervorragenden Knöpfchen in Berührung, der Strom geht dann von *p* nach *b*, von *b* um das rechtsliegende Hufeisen herum nach *c*, von *c* nach *q*, von *q* durch die Feder nach *l*, von *l* nach *n*. Läßt man die Feder *tu* gehen, so ist der Strom unterbrochen.

Von dem Säulchen *l* geht nun auch eine Messingfeder aus, welche, wenn sie nicht niedergedrückt ist, einen am Säulchen *m* hervorragenden Knopf berührt. Ist dies der Fall, so ist die Kette geschlossen, der Strom geht vom positiven Pol durch den schwarzen Draht nach *b*, von da um das links liegende Hufeisen herum nach *a*, von *a* nach *m*, von *m* durch die Messingfeder nach *l*, und von *l* endlich nach dem negativen Pol *n* der Kette.

Durch Niederdrücken der erwähnten Messingfeder wird dieser Strom unterbrochen.

In der Mitte über der von *l* nach *m* gehenden Messingfeder befindet sich eine um eine horizontale Axe drehbare Scheibe, an deren Rande 24 abwechselnd lange und kurze Stäbchen angebracht sind. Eines der langen Stäbchen ist durch * bezeichnet, die anderen durch Buchstaben, und zwar sind die mit *A*, *C*, *F*, *G*, *I* u. s. w. bezeichneten Speichen kurz, die mit *B*, *D*, *F*, *H*, *K* u. s. w. bezeichneten Speichen aber lang.

Wenn die Scheibe so gestellt ist, daß eine lange Speiche vertikal nach unten gekehrt ist, so drückt dieselbe so auf die Messingfeder, daß sie nieder-

gehalten und dadurch der Strom, welcher um das links liegende Hufeisen herumgeht, unterbrochen ist.

Unsere Figuren zeigen den Apparat, wie er hergerichtet seyn muß, wenn das Signalisiren beginnen soll. Die Kette ist an keiner Stelle geschlossen.

Zuerst wird nun durch Niederdrücken der Feder *t u* ein Signal mit dem Glöckchen gegeben, um die an der andern Station sich befindende Person aufmerksam zu machen. Alsdann wird die Scheibe so gedreht, daß zunächst die Speiche *A* vertikal nach unten geht; da sie kurz ist, so ist die Folge davon, daß die von *l* nach *m* gehende Feder in die Höhe geht, wodurch die Kette geschlossen wird, wobei dann der Zeiger von . auf *A* springt. Dreht man die Scheibe weiter, so daß die lange Speiche *B* gerade nach unten gerichtet ist, so wird die Kette wieder unterbrochen, der Zeiger springt auf *B*. Durch Drehen der Scheibe kann man also den Zeiger auf jeden beliebigen Buchstaben bringen, der Zeiger steht immer auf dem Buchstaben, welcher die vertikal nach unten gerichtete Speiche bezeichnet.

Hat man den Zeiger auf den beabsichtigten Buchstaben gebracht, so wird durch Niederdrücken der Feder *t u* ein Zeichen mit der Glocke gegeben; darauf wird die andere Feder mit der Hand ganz niedergedrückt, um die Scheibe bequem auf den Nullpunkt zurückstellen zu können. Ist dies geschehen, so wird der Beobachter davon durch ein abermaliges Zeichen mit dem Glöckchen benachrichtigt, worauf er dann den Zeiger auch auf . zurückzustellen hat. Nun ist der Apparat wieder zu Signalisirung eines zweiten Buchstaben vorbereitet.

Gesetze der magnetisirenden Wirkungen des elektrischen Stromes. 88 Die Gesetze, nach welchen die Stärke des im weichen Eisen durch den elektrischen Strom erregten Magnetismus von den einzelnen hier in Betracht kommenden Elementen, der Stärke des Stromes, der Dicke und Leitungsfähigkeit des Drahtes, der Weite der Windungen u. s. w. abhängt, sind von Jakobi und Lenz auf experimentalem Wege untersucht worden. Wir können hier nur die Resultate ihrer trefflichen Arbeiten anführen, weil die Methode, nach welcher sie diese Gesetze ermitteln, ohne Kenntniß der Inductionserscheinungen, welche erst weiter unten besprochen werden, nicht verstanden werden kann. Die erwähnten Gesetze sind folgende:

1) Die Größe des Magnetismus ist bei übrigens gleichen Umständen den angewandten Strömen proportional, d. h. wenn man um ein weiches Eisen einen Spiraldraht herumführt und durch denselben der Reihe nach verschieden starke Ströme leitet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Stärke dieses Stromes proportional seyn; hätte man also etwa eine Tangentenbousole in den Schließungskreis eingeschaltet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels an der Bousole pro-

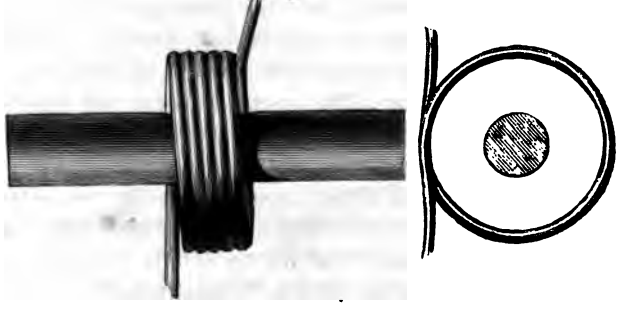
portional ſeyn. Ein ſolches Reſultat ließ ſich wohl erwarten; wenn der Strom auf einem ſchon gebildeten Magnete eine doppelte, dreifache Wirkung hervorbringt, ſo wird er auch auf weiches Eiſen eine zweimal, dreimal u. ſ. w. größere magnetiſirende Wirkung ausüben können.

2) Die Dicke des Spiraldrahtes hat keinen Einfluß auf die Stärke des erregten Magnetismus, wenn nur die Stärke des Stromes unverändert bleibt, d. h. wenn man um ein weiches Eiſen durch einen dicken Draht einen elektriſchen Strom leitet, welcher in einer eingeſchalteten Tangentenbouſſole einen beſtimmten Ausſchlag giebt, ſo wird der Magnetismus im Eiſen gerade ebenſo ſtark, als ob man ebenſo viele und eben ſolche Windungen von dünnem Draht um das Eiſen herumgewunden und durch dieſe Spirale einen Strom geleitet hätte, welcher an der eingeſchalteten Tangentenbouſſole denſelben Ausſchlag giebt. Freilich muß man, um durch den dünneren Draht bei gleicher Länge des Schließungsbogens einen Strom von gleicher Stärke hindurchzutreiben, eine Volta'ſche Kette von mehr Elementen anwenden, als bei dem dickeren Drahte, oder bei gleichen Ketten muß für den dünneren Draht die Länge des Schließungsbogens verkürzt werden.

3) Die Weite der Windungen hat, wenn das Eiſen weit genug aus denſelben hervorragt, keinen Einfluß auf die Stärke des Magnetismus; wenn man alſo auf die Mitte des Eiſens einige Drahtwindungen unmittelbar aufwindet, wie Fig. 188, oder wenn man um daſſelbe Eiſen ebenſo

Fig. 188.

Fig. 189.



viel Windungen in größerer Entfernung hereinführt, wie Fig. 189, ſo

wird in beiden Fällen das Eiſen gleich ſtark magnetiſch, wenn gleich ſtarke Ströme durch die Windungen hindurchgehen; nur wenn das Eiſen nicht aus den Windungen hervorragt, iſt die Wirkung der engen Windungen etwas größer als die der weiteren.

4) Die Totalwirkung ſämmtlicher Windungen iſt der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich.

5) Der Magnetismus, den Eiſenſtäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen einnehmen, iſt ihren Durchmeſſern proportional.

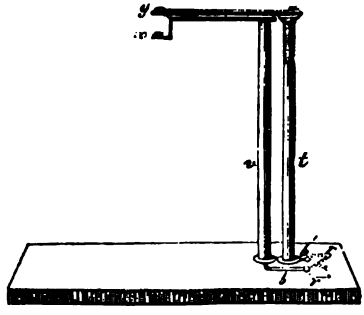
Aus den vorgetragenen Sätzen folgt, daß man mit irgend einem galvaniſchen Elemente beliebig ſtarke Magnete machen kann, wenn man nur die Dimenſionen vergrößert, denn man braucht ja nur dickere Eiſenſtäbe anzuwenden, man braucht nur bei doppeltem, dreifachem u. ſ. w. Querſchnitte des Drahtes doppelt, dreimal ſo viel Drahtwindungen um das Eiſen herum zu führen, um eine doppelte, dreifache u. ſ. w. Wirkung zu haben; denn wenn man durch zweimal, dreimal ſo viel Windungen die Länge des Schließungsdrahtes eben ſo vielmal vergrößert, ſo würde bei gleicher Drahtdicke die Stärke des Stromes geſchwächt und auf der einen Seite durch den ſchwächeren Strom verloren gehen, was auf der andern Seite durch die größere Anzahl der Windungen gewonnen wurde; wenn man aber den Querſchnitt des Drahtes in demſelben Verhältniſſe vergrößert, in welchem die Länge des Schließungsdrahtes wächſt, ſo bleibt der Strom gleich ſtark, und die Wirkung wächſt alſo in dem Verhältniſſe, in welchem die Anzahl der Windungen wächſt.

Richtung der Ströme unter dem Einfluß des Erdmagnetismus. 89
Da der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, ſo konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn alſo auch zu richten und auf verſchiedene Weiſe zu bewegen im Stande iſt. Unter allen dieſen umgekehrten Erſcheinungen iſt die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Ströme am intereſſanteſten, und man hatte ſchon lange verſucht, bewegliche Ströme herzuſtellen, welche, ſich ſelbſt überlaſſen, alle Erſcheinungen der Nadel zeigen ſollten. Alle dieſe Verſuche aber mißlangen, weil man dem Strome die nöthige Beweglichkeit nicht geben konnte. Bald aber wurden alle dieſe Schwierigkeiten von Ampère durch eine ſinnreiche Aufhängung überwunden, die ſich auf alle Ströme anwenden läßt.

Fig. 190 (a. folg. S.) ſtellt zwei vertikale Säulen von Meſſing dar, welche auf einem Fuße von Holz befeſtigt ſind; oben tragen ſie horizontale Arme, die mit den Queckſilbernäpfchen x und y endigen, deren Mittelpunkte genau vertikal unter einander ſtehen. Da, wo ſich die horizontalen Arme zu berühren ſcheinen, ſind ſie durch iſolirende Subſtanzen getrennt, wenn alſo die Füße der Säulen mit den beiden Polen der Kette

in Verbindung geſetzt werden, ſo gelangt eine der elektriſchen Flüſſigkeiten zum Näpfchen x, die andere nach y. Eins dieſer Näpfchen kann man das poſitive, das andere das negative nennen.

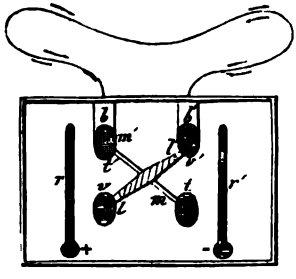
Fig. 190.



Nichts iſt leichter, als die Elektricitäten zum Fuße der Säulen zu leiten; weil es jedoch oft nöthig iſt, die Verbindungen raſch aufzuheben und in entgegengeſetzter Weiſe wieder herzuſtellen, ohne den Apparat zu ſtören, ſo hat Ampère eine ſinnreiche Einrichtung erſonnen, welche ihren Zweck auf eine ſehr bequeme Weiſe erfüllt.

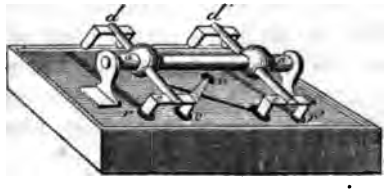
rr' ſind zwei Rinnen, welche einige Linien tief aus einem Brette ausgehöhlt ſind, welches man auf den Fuß der verſchiedenen elektromagnetiſchen Apparate ſtellen kann. v und v', t und t' ſind vier Höhlungen, welche diagonal durch Kupferſtreifen mit einander verbunden ſind, nämlich v und v' durch ll', t und t' durch mm'; am Kreuzungspunkte ſind die Streifen durch einen nichtleitenden Körper getrennt. Die Rinnen und Löcher ſind gehörig gefirnißt, damit das Holz die Elektricität nicht ableite, und mit Queckſilber gefüllt.

Fig. 191.



Taucht nun der poſitive Poldraht in die Rinne r, der negative in die Rinne r', ſo kann die Elektricität in keines der vier Löcher übergehen; wenn man aber eine Verbindung zwiſchen r und v und eine andere Verbindung zwiſchen r' und t herſtellt, ſo verbreitet ſich die Elektricität weiter von v nach v', von t nach t'; der Metallſtreifen b' alſo, welcher mit v' in Verbindung iſt, wird poſitiv, der Streifen b aber, welcher mit t' in leitender Verbindung ſteht, wird negativ. Stellt man aber eine leitende Verbindung zwiſchen r und t' und zwiſchen r' und v' her, ſo wird b' negativ, b poſitiv. Sind nun die Streifen b und b' durch einen Metallbogen verbunden, ſo wird der poſitive Strom entweder von b' nach b, oder umgekehrt

Fig. 192.



von *b* nach *b'* gehen, je nachdem die eine oder die andere der eben beſprochenen Verbindungsweiſen hergeſtellt wird. Wirft man nun einen Blick auf den Schwengel, Fig. 192, ſo überſieht man leicht den Mechanismus, von dem noch zu reden übrig iſt. Dieſes Stück iſt von Holz, läßt ſich um die Axe *a a'* drehen und trägt 4 metallene Leitungsbogen, *c* und *c'*, *d* und *d'*. Wie es eben die Figur zeigt, iſt *r* und *v* durch den Bogen *c* verbunden, *t* und *r* durch den Bogen *c'*; die Metallbogen *d* und *d'* ſind bei dieſer Stellung in die Höhe gehalten. Werden aber die vorderen Hebelarme aufgezogen, die hinteren niedergedrückt, ſo kommen die Bügel *c* und *c'* aus den Vertiefungen *r*, *v*, *t* und *r'* heraus, hier iſt alſo die Verbindung unterbrochen, auf der andern Seite aber wird *r* mit *t'* durch *d* und *r'* mit *v'* durch *d'* in leitende Verbindung gebracht.

Dieſer Apparat iſt, wie man Fig. 190 ſieht, am Fuße der beiden Säulen *v* und *t* angebracht, nur iſt der Deutlichkeit wegen in dieſer Figur der bewegliche Theil weggeblieben. Man ſieht, daß jeder der Streifen *b* und *b'* der Fig. 190 zu dem Fuße einer Säule führt. Je nachdem man alſo dem Schwengel die eine oder die andere Stellung giebt, wird das Näpfchen *x* entweder poſitiv oder negativ.

Dieſer Apparat iſt unter dem Namen des Gyrotrops bekannt.

Dies Alles vorausgeſetzt, wollen wir nun den kreisförmigen Kupferdraht, Fig. 193, unterſuchen. Da, wo ſich die beiden Drahtenden zu berühren ſcheinen, ſind ſie durch eine iſolirende Subſtanz getrennt; ſie ſind oben umgebogen und mit Stahlſpitzen verſehen, die in die Näpfchen *x* und *y*, Fig. 190, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Queckſilber ein. Durch dieſe Aufhängung iſt der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 193.

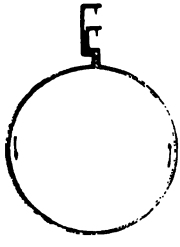
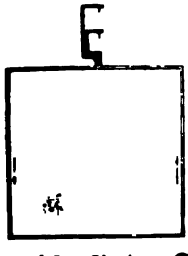


Fig. 194.

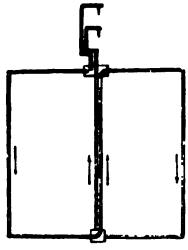


Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, ſo dreht ſich der Draht, um nach einigen Oscillationen in einer beſtimmten Lage ſtehen zu bleiben, in die er auch ſtets wieder zurückkehrt, wenn man ihn daraus entfernt. Kehrt man den Strom mit Hülfe des Gyrotrops um, ſo macht der Kreis eine halbe Umdrehung und kommt alsdann wieder zur Ruhe. In beiden Gleichgewichtslagen ſteht der Kreis ſo, daß ſeine Ebene mit der des magnetiſchen Meridians einen rechten Winkel macht. Ein ſtabiles Gleichgewicht findet Statt, wenn in der unteren Hälfte des Kreiſes der poſitive Strom von Oſten nach Weſten geht.

Wendet man ſtatt des kreisförmigen Drahtes einen rechtwinklig gebogenen an, wie Fig. 194, oder giebt man ihm irgend eine andere Geſtalt, ſo bleiben die Reſultate doch ſtets dieſelben.

Wenn ſich die Wirkung der Erde ſelbſt neutraliſiren ſoll, ſo muß man einen Draht in der Weiſe zurichten, daß er zu beiden Seiten der Umdrehungsaxe ſymmetriſch iſt und von dem Strome in derſelben Richtung durchlaufen wird, wie dies bei dem Drahte Fig. 195 der Fall iſt. Ein ſolches Rechteck hat gar keine richtende Kraft. Der Grund davon iſt leicht einzuſehen; der Strom der einen Seite hebt die Wirkungen des Stromes der andern Seite auf.

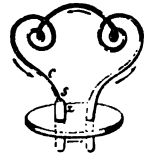
Fig. 195.



De La Rive hat mehrere recht ſinnreiche Apparate angegeben, welche dazu dienen, zu zeigen, wie ſelbſt ſchwache Ströme durch Magnete, ja ſchon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden können. Dieſe kleinen Apparate ſind ſchwimmende Ströme, deren Geſtalt man nach Belieben ändern kann; ſie ſind Fig. 196 und Fig. 197 dargeſtellt. In einem Stücke Kork, welches auf geſäuertem Waſſer ſchwimmt, iſt ein Stück Zink, z, und ein Stück Kupfer befeſtigt, und beide ſind durch einen Kupferdraht verbunden; dieſer Draht iſt entweder kreisförmig, wie Fig. 196, oder man kann ihm verſchiedene Windungen geben, etwa wie Fig. 197. Auf das Waſſer geſetzt, bildet ſich ein Strom, der vom Zink im Waſſer zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung hindurchgeht. Dieſer Strom iſt nun ſchon ſtark genug, um durch den Erdmagnetismus gerichtet zu werden, noch mehr wird er alſo durch einen Magneten gerichtet, angezogen und abgeſtoßen.

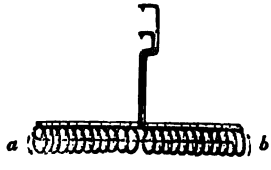
Fig. 196.

Fig. 197.



Weil ſich ein geſchloſſener kreisförmiger Strom, welcher um eine vertikale Axe drehbar iſt, rechtwinklig zum magnetiſchen Meridian ſtellt, ſo folgt, daß eine Verbindung unter ſich paralleler Kreiſe, die in derſelben Richtung durchſtrömt werden, ſich ebenſo ſtellen muß. So muß ſich denn auch der Schraubendraht, Fig. 198, an dem Ampère'ſchen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, ſo ſtellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Fig. 198.



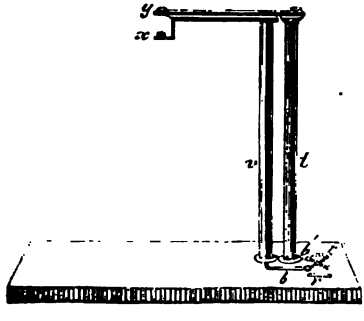
Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf dieſe Weiſe die Declinationsnadel durch

einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, ſondern auch, daß der Südpol, d. h. der nach Norden gerichtete, derjenige iſt, für welchen der aufſteigende Strom auf der rechten Seite liegt, wenn man ihn von ſeiner Seite her betrachtet. Sieht man den Schraubendraht von *a* aus an, ſo hat man in der That den aufſteigenden Strom zur Rechten, den niederſteigenden zur Linken; betrachtet man aber den Schraubendraht in der Richtung von *b* her, ſo hat man den aufſteigenden Strom zur Linken; *a* iſt alſo der Südpol und muß ſich nach Norden richten. Ebenſo kann man auch ſagen, daß, wenn ſich eine Declinationsnadel in die Gleichgewichtslage geſtellt hat, der untere Strom von Oſten nach Weſten geht.

Das Brettchen, welches den verſchiedenen Windungen des Schraubendrahtes Fig. 198 zur Befeſtigung dient, beſteht aus einer nichtleitenden Subſtanz.

Wenn man den Schraubendrähten, welche wir ſo eben betrachtet haben, einen Magnetſtab nähert, ſo kann man ganz ähnliche Erſcheinungen beobachten, als ob man den Magnetſtab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weiſe alle bisher betrachteten Apparate auch durch Magnetſtäbe afficirt werden. Will man aber den Einfluß des Stabes ganz rein, d. h. ganz ohne Einwirkung des Erdmagnetismus haben, ſo muß man ſolche Apparate anwenden, in welchen ſich die Wirkung des Erdmagnetismus von ſelbſt aufhebt, z. B. das doppelte Rechteck, Fig. 195, wenn es an dem Apparate Fig. 199 aufgehängt iſt. Das Rechteck bleibt in allen Lagen im Gleichgewichte; wenn man ihm aber den einen Pol eines Magneten nähert, ſo wird es bald angezogen, bald abgeſtoßen. Wenn man den Verſuch macht, ſo iſt man überraſcht, einmal Anziehung, dann wieder Abſtoßung wahrzunehmen, während man die Stellung des Magneten kaum verändert hat. Wenn man den einen Pol nur etwas rechts oder links bewegt, wenn man ihn nur etwas nähert oder entfernt, ſo bemerkt man oft ſogleich eine Umkehrung der Wirkung. Alle dieſe Erſcheinungen, welche dem Anſehen nach ſo verwickelt ſind, laſſen ſich nach dem Ampère'ſchen Geſetze ſehr leicht erklären.

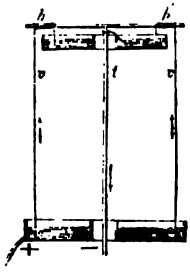
Fig. 199.



Um ſich von der Wirkung der Erde auf Ströme genügend Rechenſchaft geben zu können, muß man die Wirkung auf vertikale und auf horizontale Ströme beſonders unterſuchen. Für vertikale Ströme kann man ſich

des Fig. 200 dargestellten Apparates bedienen. Er besteht aus zwei cylindrischen Gefäßen von Kupfer; der Durchmesser des unteren ist etwas größer als der des oberen. In der Mitte haben beide Gefäße eine cylindrische Oeffnung, durch welche ein Stab *t* hindurchgeht, der oben mit einem Queckſilbernäpfchen endigt. Das Querſtäbchen *h h'* iſt aus einer nichtleitenden Subſtanz verfertigt und hat in der Mitte eine Spitze, mittelſt welcher es auf dem Boden des Schälchens aufſitzt und ſehr leicht drehbar iſt. Das untere Gefäß ſowohl wie das obere ſind mit geſäuertem Waſſer angefüllt. Die Drähte *v* und *v'* ſind mit ihrem unteren Ende in die Flüſſigkeit des unteren Gefäßes eingetaucht; oben iſt jeder Draht mit einigen Windungen an dem Querſtabe *h h'* befeſtigt und ragt dann in das ſaure Waſſer des oberen Gefäßes herab. Das untere Gefäß iſt durch einen Draht mit dem einen, der Stab *t* mit dem andern Pole der Kette in Verbindung geſetzt; tritt alſo der poſitive Strom in das untere Gefäß, ſo ſteigt er von da durch die Drähte *v* und *v'* in die Höhe, tritt dann in das ſaure Waſſer des oberen Gefäßes, von da durch einen Draht in das Näpfchen, um endlich durch den Stab *t* wieder hinabzugehen.

Fig. 200.



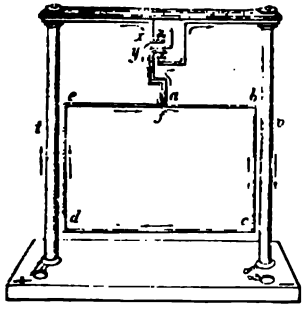
Nimmt man das obere oder untere Ende eines der beiden Drähte *v* oder *v'* aus dem ſauren Waſſer des oberen oder unteren Gefäßes, ſo kann der Strom nur durch einen Draht hinaufſteigen. In dieſem Falle ſtellt ſich das Syſtem ſo, daß ſeine Ebene auf der des magnetiſchen Meridians rechtwinklig und daß, bei aufſteigendem Strome, der Draht, den er durchläuft, weſtlich vom Stabe *t* ſteht. Circulirt der Strom in entgegengeſetzter Richtung, ſo ſtellt ſich der Draht, indem er niederſteigt, auf die Oſtſeite.

Wenn beide Drähte oben und unten eingetaucht ſind, wie es die Figur zeigt, ſo hat das Syſtem keine richtende Kraft mehr, es befindet ſich in jeder Lage im Gleichgewichte, denn auf jeden Draht wirkt eine Kraft, die der auf den anderen wirkenden gleich und entgegengeſetzt iſt.

90 **Gegenſeitige Wirkung galvaniſcher Ströme auf einander.** Die gegenſeitige Wirkung, welche Ströme auf einander ausüben, wurde von Ampère entdeckt, und faſt Alles, was man darüber weiß, verdankt man ſeinen Unterſuchungen. Wenn es auch nicht möglich iſt, in ein Lehrbuch die ganze Ampère'ſche Theorie aufzunehmen, ſo werden wir doch die wichtigſten Verſuche anführen, auf welche ſie ſich ſtützt, und die Grundſätze derſelben mittheilen.

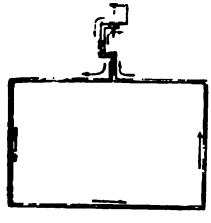
Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus, welche mehr oder weniger lebhaft iſt, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intenſität und ihrer Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, ſo iſt dieſe folgendem einfachen Geſetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen ſich an, wenn ſie ſich in gleicher Richtung bewegen, ſie ſtoßen ſich aber ab, wenn ihre Richtung entgegengeſetzt iſt.

Fig. 201.



Das Geſagte läßt ſich durch folgenden Apparat nachweiſen: $abcdef$ iſt ein Rechteck von Kupferdraht, welches in den Queckſilbernäpfchen x und y aufgehängt iſt. Der Strom ſteigt durch die Säule t auf, durchläuft das Rechteck in der Richtung der Pfeile und ſteigt in der Säule v herab. Der Strom in der Säule t hat mit dem in dem Drahtſtücke de gleiche Richtung; ebenſo verhält es ſich mit dem Strome in bc und v. Bringt man nun das Rechteck aus der in der Fig. 201 dargeſtellten Lage heraus, ſo kehrt es immer wieder in dieſelbe zurück, weil de von t und bc von v angezogen wird.

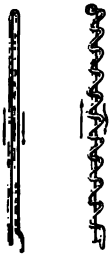
Fig. 202.



Setzt man das Rechteck Fig. 202 an die Stelle des in Fig. 200 aufgehängten, ſo hat der Strom im Drahte die entgegengeſetzte Richtung von dem in der zunächſt liegenden Säule, und man beobachtet eine Abſtoßung; parallele entgegengeſetzte Ströme ſtoßen ſich alſo ab.

Wenn ein Draht umgebogen iſt, wie Fig. 203, ſo daß zwei parallele Ströme in entgegengeſetzter Richtung dicht neben einander herlaufen, ſo iſt ſeine Wirkung Null.

F. 203. F. 204.

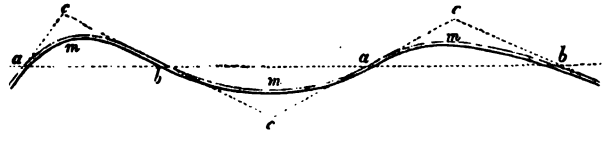


Die Wirkung eines krummlinigen Stromes iſt gleich der Wirkung eines geradlinigen, welcher die Länge von einem Endpunkte des krummen bis zum anderen und gleiche Intenſität hat, vorausgeſetzt, daß die Wirkung auf eine Entfernung ausgeübt wird, welche ſehr groß iſt im Vergleich zu der Größe der Biegungen. Es läßt ſich dies mit Hülfe des Drahtes Fig. 204 nachweiſen. Der Draht muß mit Seide umwickelt ſeyn, damit an Stellen, wo die

Windungen etwa den geraden Strom berühren ſollten, kein Uebergang des Stromes ſtattfinden kann. Wenn man nun durch den geraden Draht einen Strom aufſteigen läßt, welcher durch den gebogenen Theil wieder niedergeht, ſo übt dieſes Syſtem gar keine Wirkung auf das Rechteck Fig. 201 aus, die Wirkungen des einen Stromes heben alſo die des anderen auf.

Es geht daraus hervor, daß man einen krummlinigen Strom von geringer Ausdehnung immer durch ſeine Corde *a b*, Fig. 205, oder durch

Fig. 205.



ſeine beiden Projectionen *a c* und *b c*, welche irgend einen Winkel mit einander machen, erſetzen kann. Wenn der gebogene Draht Fig. 203 ſpiralförmig um den geraden herumgewunden geweſen wäre, ſo würde er doch noch dieſelbe Wirkung auf das Rechteck hervorgebracht haben, d. h. die Wirkung des gerade aufſteigenden Stromes würde durch die Wirkung des ſpiralförmig niedergehenden neutraliſirt worden ſeyn; daraus darf man aber nicht ſchließen, daß ein ſpiralförmiger Draht immer durch einen geraden Draht erſetzt werden kann, ſondern nur, daß ſie in dieſem ſpeciellen Falle gleiche Wirkung hervorbringen.

Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel ſind, mögen ſie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen ſich ſchneiden, oder mögen ſie in verſchiedenen Ebenen liegen, ſo daß ſie ſich nicht treffen. Im erſten Falle iſt der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem ſie ſich ſchneiden, im zweiten Falle iſt es ein Punkt der kürzeſten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme ſtreben ſich immer parallel zu ſtellen, um ſich nach einer Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwiſchen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwiſchen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abſtoßung aber findet Statt zwiſchen einem Strome, welcher ſich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem anderen, welcher von ihm weggeht.

Sind z. B. *a b* und *c d*, Fig. 206, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt *r* iſt, ſo findet eine Anziehung zwiſchen den Theilen *a r* und *c r* Statt,

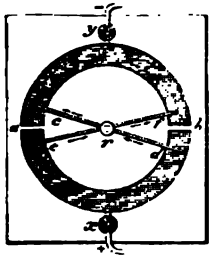
Fig. 206.

in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwiſchen den Theilen rb und rd, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abſtoßung findet zwiſchen ar und rd, ferner zwiſchen cr und rb Statt.

Der Apparat, welcher Fig. 207 im Durchſchnitt und Fig. 208 im Grundriß dargeſtellt iſt, dient dazu, um dieſen Satz nachzuweiſen. In einer Platte von Holz ſind zwei halbkreisförmige Rinnen angebracht, welche durch iſolirende Scheidewände a und b getrennt ſind. Im Mittelpunkte erhebt ſich eine Spitze, auf welcher eine ſehr bewegliche Kupfernadel cd ruht, deren Enden von Eiſen ſind und in das Queckſilber der Rinnen eintauchen. Etwas unter dieſer Nadel befindet ſich eine andere ef, deren Enden gleichfalls in das Queckſilber eintauchen und die man mit der Hand verſchieben kann. Der Strom, welcher bei x eintritt, geht in die eine Rinne, dann durch die beiden Nadeln in die andere, um endlich bei y auszutreten. Man zeigt die Abſtoßung, wenn man den Nadeln die Stellung Fig. 208 giebt, die Anziehung aber, wenn man ſie in eine ſolche Lage bringt, daß der Winkel erd kleiner als ein rechter wird.

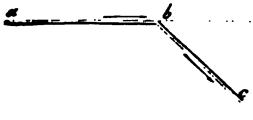
Fig. 207.

Fig. 208.



Daraus geht hervor, daß ein Strom abc, welcher einen Winkel bildet, ein Beſtreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil ſich die Theile ab und bc des Stromes abſtoßen.

Fig. 209.



Dieſe Abſtoßung ſtrebt nicht bloß bc in die Verlängerung von ab zu bringen, ſondern ſie wirkt auch noch, wenn dieſe Bedingung erfüllt iſt, d. h. die verſchiedenen zuſammenhängenden Theile eines und deſſelben geradlinigen Stromes ſtoßen ſich ab. Es iſt dies eine wichtige Folgerung aus der Ampère'ſchen Theorie; was jedoch den experimentellen Beweis für dieſen Satz betrifft, ſo möchte wohl noch viel zu wünſchen übrig ſeyn. Der Apparat, deſſen man ſich dazu bedient, iſt Fig. 210 dargeſtellt. Ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß iſt durch eine nichtleitende Scheidewand ab in zwei Abtheilungen getheilt. Ein mit Seide überſponnener Kupferdraht iſt ſo gebogen, daß er von

Fig. 210.

einer Abtheilung in die andere führt und daß ſich in jeder Gefäßabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel iſt; dieſe horizontalen Arme ſind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen, in das Queckſilber eintaucht, mit Wachs überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvaniſchen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieſes Drahtes, ſo weicht der ganze Draht von den Poldrähten zurück, was anzudeuten ſcheint, daß der Theil des Stromes, welcher den horizontalen Arm durchſtrömt, von demjenigen Theile abgeſtoßen wird, welcher durch das Queckſilber geht. Dieſer Schluß iſt aber nicht ganz ſtreng, weil man die Art und Weiſe noch nicht kennt, wie ein Strom aus einer Flüſſigkeit in einen feſten Körper übergeht; es würde z. B. ſchon hinreichen, daß ein Theil des Stromes ſich ſchräg gegen den Draht bewegte, um eine gewiſſe Abſtoßung hervorzubringen.

91 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Das Princip dieſer Theorie beſteht darin, jedes Molekül eines Magneten als von einem Strome gleichſam eingehüllt zu betrachten, welcher, das Molekül beſtändig umkreiſend, in ſich ſelbſt zurückkehrt und den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man ſtellt ſich alſo nach dieſer Theorie jeden auf der Axe des Magneten rechtwinkligen Querſchnitt ungefähr auf die durch Fig. 211 anſchaulich gemachte Weiſe vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querſchnittes aber kann man ſich denſelben von einem einzigen Strome umkreiſ't denken, welcher gleichſam die Reſultirende aller elementaren Ströme dieſes Querſchnitts iſt, und ſomit läßt ſich ein Magnetſtab als ein Syſtem unter ſich paralleler geſchloſſener Ströme denken, ungefähr ſo, wie es Fig. 212 anſchaulich macht.

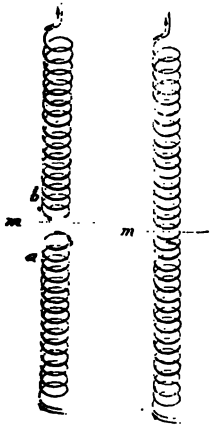
Fig. 211.

Fig. 212.

Was hier von einem Magnetſtabe geſagt iſt, läßt ſich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Denken wir uns einen Schraubendraht, welcher ſich von *m*, Fig. 213, aus nach beiden Seiten hin erſtreckt, und welchen der Strom in der Richtung der Pfeile durchläuft; denken wir uns denſelben ferner bei *m* durchgeſchnitten und von einander entfernt, ſo folgt aus unſerer Definition, daß bei *a* ein Südpol und bei *b* ein Nordpol iſt, denn wenn man ſich dem Pol bei *a* zuwendet, ſo hat man den aufſteigenden Strom zur

Fig. 213.



Linken, wendet man ſich aber dem Pol *b* zu, ſo hat man ihn zur Rechten.

Schneidet man alſo einen Schraubendraht rechtwinklig zu ſeiner Axe durch, ſo entſtehen zwei ungleichnamige Pole, gerade ſo, wie wenn man einen Magneten durchbricht.

Ferner iſt klar, daß ſich die ungleichnamigen Pole *a* und *b* anziehen, denn wenn wir nun die Endkreiſe betrachten, ſo ſieht man ſchon, daß hier die Ströme parallel und gleich gerichtet ſind, ebenſo iſt es aber mit allen anderen.

Um die Erklärung der Anziehung und Abſtoßung der Pole in verſchiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anſchaulich zu machen, zeichnet man am beſten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuß lang ſind und 2 bis 3 Zoll im Durchmeſſer haben, Pfeile in der Weiſe, wie man Fig. 214 ſieht, welche die Richtung der Ströme darſtellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die gleichnamigen Pole auf dieſelbe Weiſe, etwa die Nordpole mit +, die Südpole mit —. Mit Hülfe zweier ſolcher Modelle läßt ſich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole ſich immer abſtoßen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weiſe ſie man auch übrigens einander nähern mag.

Fig. 214.

Ein elektrodynamiſcher Schraubendraht iſt aber doch noch weſentlich von einem Magneten verſchieden. Während ein Magnet an ſeinen Enden am kräftigſten wirkt, findet ſich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Verſuch anſchaulich gemacht.

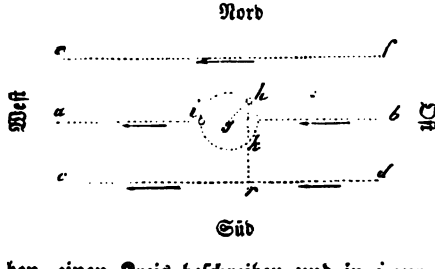
Man verſchaffe ſich einen hohlen Magnetſtab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn ſenkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun ſchiebe man vorſichtig eine leichte magnetiſche Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, ſondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben ſchweben. Man kann ſie ſogar eine Strecke hinunterdrücken, und ſie ſteigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendraht aber begiebt ſich die Nadel ſogleich in die Mitte und bleibt dort ſchweben, wenn der Strom ſtark genug iſt.

Nach unſerer Hypotheſe müſſen wir uns auch die Erdoberfläche von

Strömen umkreiſ't denken, die mit dem magnetiſchen Aequator parallel ſind. An jedem einzelnen Orte aber kann man ſich vorſtellen, daß die Wirkung aller dieſer Ströme ſich auf die eines einzigen hypothetiſchen Stromes reducirt, dem man nur eine entſprechende Intenſität und Lage zutheilen muß, damit er wirklich den Totaleffect aller übrigen repräſentiren kann. Wir wollen dieſen gedachten Strom den mittleren Erdſtrom nennen. Auf dem magnetiſchen Aequator liegt dieſer Strom in einer vertikalen Ebene, an allen anderen Orten aber iſt er mehr oder weniger geneigt; wir werden ſogleich ſehen, wie man ſeine Lage und Richtung beſtimmen kann.

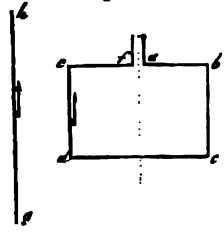
Es iſt leicht zu zeigen, daß der mittlere Erdſtrom von Oſten nach Weſten geht. In der That, da an jedem Orte der wirkſamſte Theil dieſes Stromes im Weſentlichen wagerecht iſt, ſo braucht man ſeine Wirkung nur einem vertikalen Strom, welcher um eine ebenfalls vertikale Axe drehbar iſt, auszuſetzen und ſeine Gleichgewichtslage zu beobachten. Wir haben aber oben Nro. 89 geſehen, daß ein ſolcher beweglicher Strom unter der Einwirkung der Erde ſich immer rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtellt, daß er auf der Oſtſeite ſtehen bleibt, wenn er herabſtrömt, auf der Weſtſeite, wenn er aufſteigt. Der Erdſtrom ſteht alſo auch rechtwinklig auf der Ebene des magnetiſchen Meridians und geht von Oſten nach Weſten. Dieſer Verſuch aber, welcher ſo leicht die Richtung des Stromes beſtimmt, entſcheidet nichts über ſeine Lage, denn er könnte nördlich oder ſüdlich vom Beobachtungsort vorübergehen und würde doch dieſelbe Wirkung auf den vertikalen Strom hervorbringen, wie man in Fig. 215 ſehen kann. Der vertikale Strom, den wir aufſteigend annehmen wollen, erſcheint in unſerer Figur zum Punkt verkürzt in h, ebenſo die Umdrehungsaxe g. Wäre nun der Erdſtrom ſüdlich in cd, ſo würde das Stromſtück rd den vertikal aufſteigenden Strom in h abſtoßen, während er von dem Stromſtück rc angezogen wird; der Strom h wird alſo, nach Weſten hin getrieben, einen Kreis beſchreiben und in i zur Ruhe kommen. Denſelben Effect würde aber auch ein nördlich vom Beobachtungsort ſich bewegender Strom fe hervorbringen.

Fig. 215.



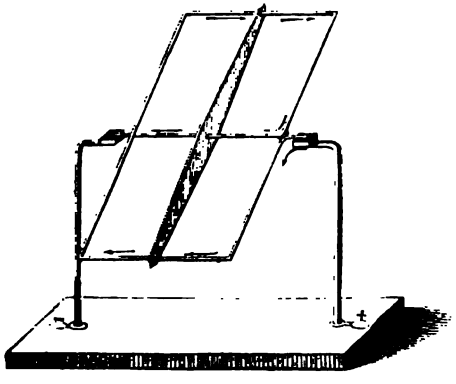
Für jeden Ort befindet ſich der Erdſtrom in einer auf

Fig. 216.



der Inclinationsnadel rechtwinkligen Ebene. Um dies zu beweiſen, muß man ſich erinnern, daß, wenn ein rechtwinkliger Strom *abcdef* vollkommen frei um ſeine Rotationsaxe drehbar iſt und durch einen Strom *g h* afficirt wird, der mit der Umdrehungsaxe des Rechtecks parallel iſt, daß alsdann ein ſtabiles Gleichgewicht ſtattfindet: 1) wenn die Ebene des Rechtecks mit der des Stromes und der Axe zuſammenfällt, 2) daß der Strom der Seiten des Rechtecks, welche dem richtenden Strome zunächſt liegt, mit dieſem gleiche Richtung hat. Da dies, ganz unabhängig von der Lage der Axe, wahr iſt, ſo läßt er ſich auf einen horizontalen Strom und ein um eine horizontale Axe drehbares Rechteck anwenden. Wenn man alſo den Apparat, Fig 217, ſo ſtellt, daß die horizontale Umdrehungsaxe mit dem Erdſtrom parallel iſt, d. h. alſo, wenn ſie rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, ſo iſt klar, daß die Ebene, in welcher ſich nun der rechteckige Strom in's Gleichgewicht ſtellt, auch die Ebene iſt, in welcher der Erdſtrom liegen muß. Macht man den Verſuch, ſo findet man, daß ſich das Rechteck rechtwinklig auf die Richtung der Inclinationsnadel hält.

Fig. 217



Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magneten. 92
Es ſey *abcd*, Fig. 218, der horizontale Durchſchnitt eines vertikal ſtehenden Magneten, *s* ein zum Punkt verkürzt erſcheinender vertikaler Strom, den wir aufſteigend annehmen wollen und welcher um die vertikale Axe *n* drehbar iſt, ſo iſt nach den in Nr. 89 auseinandergeſetzten Principien klar, daß das Stück *ab* des Magnetſtromes den Strom *s* abſtoßen, *bc* aber ihn anziehen wird, der Strom *s* muß alſo in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, ſo würde die Richtung der Rotation die entgegengeſetzte werden; ebenſo wird natürlich die

Fig 218.

Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetiſchen Pole bewirkt.

Eine ſolche Rotation kann mit Hülfe des Apparates, Fig. 219, hervorgebracht werden. An einem vertikalen Stabe *l* iſt ein horizontaler Stab *a* verſchiebbar, ſo daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feſtſtellen kann. Dieſer horizontale Stab trägt einen Meſſingring, auf welchem eine kreisförmige hölzerne mit Queckſilber zu füllende Rinne aufgeſetzt wird. In dem Meſſingringe ſteckt eine Korkſcheibe, durch deren Mitte ein vertikaler Magnetſtab hindurchgeht, an welchem oben eine Hülſe mit einem Stahlnäpfchen angeſchraubt iſt. In dieſem Stahlnäpfchen ſitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen iſt, ſo daß ſeine unteren mit einer Platinſpitze verſehenen Enden in die Queckſilberrinne eintauchen. In der Mitte dieſes Kupferbügels befindet ſich ein Queckſilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieſes Queckſilbernäpfchen *p*, der andere aber in die Rinne getaucht, ſo durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsbald zu rotiren beginnt.

Fig. 219.

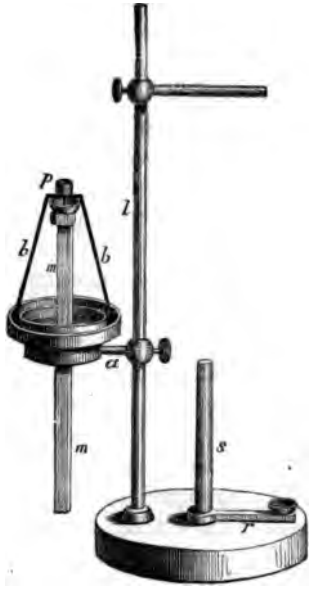
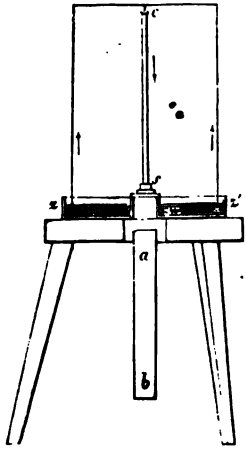


Fig. 220.

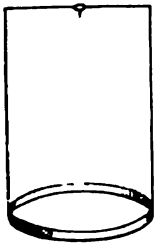


Die Wirkung des Magneten auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterſtützt, welche der Magnet auf den Strom im andern Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Faraday hat einen Rotationsapparat angegeben, zu welchem man nicht noch einer beſondern galvaniſchen Kette bedarf, indem der Strom im Apparat ſelbſt erzeugt wird. *z z'* iſt ein Gefäß von Zink, welches geſäuer-

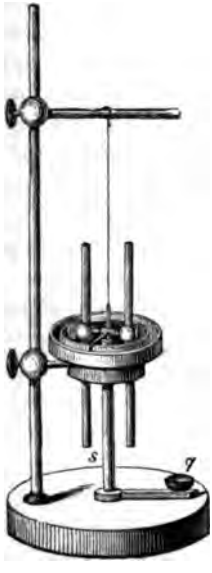
tes Waſſer enthält; es iſt in der Mitte durchbrochen, über die Mitte der Oeffnung aber iſt ein Querſtab von Zink gelegt, auf welchem ein Kupferſtäbchen *s c* befeſtigt iſt. In das Queckſilbernäpfchen, mit welchem das Stäbchen oben endigt, iſt der Apparat, Fig. 221, eingeſetzt. Der poſitive Strom geht vom Zink durch die Flüſſigkeit zu dem Kupferring, ſteigt dann in den Drähten in die Höhe und in dem Stäbchen *s t* wieder herunter. Durch einen unter dem Gefäß angebrachten Magneten *a b* wird eine raſche Rotation hervorgebracht. Man kann dieſen Apparat ſelbſt ſo empfindlich machen, daß er ſchon unter dem Einfluß des Erdmagnetismus rotirt.

Fig. 221.



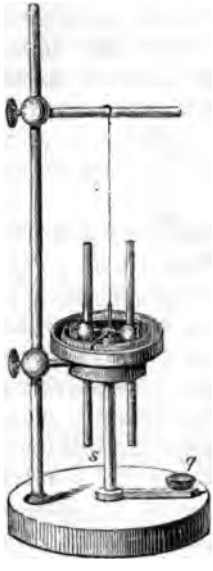
Rotation eines beweglichen Magneten um einen feſten Strom. 93 **Wäre der Strom** *s*, Fig. 218, feſt, der Magnet *a b c d* aber um *s* drehbar, ſo würden dieſelben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magneten drehten, nun den Magneten in Rotation verſetzen. Derſelbe Apparat Fig. 219, welcher gedient hat, die Rotation eines Stroms um einen Magneten zu zeigen, kann mit einigen Abänderungen auch dienen, um einen Magneten um einen feſten Strom rotiren zu laſſen. Zunächſt wird die Korkſcheibe mit dem Magnetſtab *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, der horizontale Stab *a* aber in der Weiſe feſtgeſchraubt, daß das obere Ende des Kupferſtabes *s* den Mittelpunkt der Holzrinne bildet, wie dies Fig. 222 der Fall iſt. Am oberen Ende des Kupferſtabes *s* befindet ſich eine Höhlung, welche mit Queckſilber gefüllt wird. In dieſer Höhlung hängt von oben herab ein Metallſtiftchen, ſo daß ſein unteres Ende in das Queckſilber eintaucht, ohne den Boden zu berühren. An dieſes an einem Seidenfaden herabhängende Metallſtäbchen iſt ein horizontaler Querſtab befeſtigt, welcher mit zwei Kugeln endigt, in denen zwei Magnetſtäbe ſo ſtecken, daß beide ihren Nordpol oben oder beide ihren Nordpol unten haben.

Fig. 222.



In der Mitte des erwähnten horizontalen Querſtabs iſt rechtwinklig zu ſeiner Richtung ein anderes Metallſtäbchen angeſetzt, welches mit einer nach unten umgebogenen Platinſpitze endigt; dieſe Platinſpitze taucht in das Queckſilber der hölzernen Rinne. Wenn nun der eine Pol der Kette in das Queckſilbernäpfchen q, der andere in die Holzrinne getaucht wird, ſo geht der Strom von q durch s, von dem oberen Ende des Stäbchens s durch das Horizontalſtäbchen in die Rinne, oder er circulirt in entgegengeſetzter Richtung. Sobald der Strom zu circuliren beginnt, fängt auch das ganze an dem Faden hängende Syſtem mit den beiden Magnetſtäben an, um die durch den Faden gebildete vertikale Axe zu rotiren. Die Wirkung des vertikalen Stromes in s auf den einen Magnetſtab wird durch die Wirkung des Stromes auf den andern Magnetſtab unterſtützt. Wäre der Nordpol des einen und der Südpol des andern Magneten nach unten gekehrt, ſo würden ſich die Wirkungen des Stromes auf die beiden Magnetſtäbe gegenſeitig aufheben.

Fig. 223.



Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt ſind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der poſitive Strom ſtiege in s in die Höhe, ſo müßte in dieſem Draht die Ampère'ſche Figur aufrecht ſtehen. Wenn nun der Nordpol (das Südende) der beiden Magnete nach unten gekehrt iſt, ſo wird, wenn die Figur nach einem Magnetſtab hin ſieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren alſo in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr. Eine Umkehrung des Stroms oder eine Umkehrung der Magnetpole würde eine Umkehrung der Rotationsrichtung zur Folge haben.

Eine andre Form dieſes Verſuchs iſt Fig. 224 dargeſtellt. Ein Glasgefäß $v\,v'$ iſt bis nahe an den Rand mit Queckſilber gefüllt; ein cylinderförmiger Magnet $a\,b$, durch ein Platinſtück p beſchwert, hält ſich in dem Queckſilber ſo aufrecht, daß er noch einige Millimeter über den

Fig. 224.

Spiegel deſſelben hervorragt. Ein Stäbchen *t*, welches man mittelſt einer Schraube höher und tiefer ſtellen kann, taucht mit ſeinem untern Ende in das Queckſilber ein, während es an ſeinem andern Ende mit einem Kupferdrahte *c'* verbunden iſt, der zu dem einen Pole einer galvaniſchen Kette führt; ein anderer Kupferdraht *c* endlich, welcher mit dem andern Pole der Kette verbunden iſt, endigt im Gefäße mit einem Ringe, der etwas in das Queckſilber eintaucht. Sobald die Kette geſchloſſen wird, dreht ſich der Magnet mehr oder minder ſchnell immer in derſelben Richtung um das Stäbchen *t* herum; er zeigt einiges Beſtreben, ſich dem Stäbchen *t* zu nähern, mit einiger Vorſicht läßt ſich aber Alles ſo einrichten, daß er fern bleibt. Damit die Rotation regelmäßig und raſch vor ſich geht, iſt ſchon ein kräftiger Apparat nöthig.

Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magneten ſelbſt auf- oder niederſtrömen läßt, ſo rotirt er um ſeine eigene Axe, wenn ſeine Aufhängung oder ſeine Aufſtellung eine ſolche Rotation erlaubt; eine ſolche Anordnung iſt Fig. 225 dargeſtellt. Am oberen Ende des Magneten

Fig. 225.

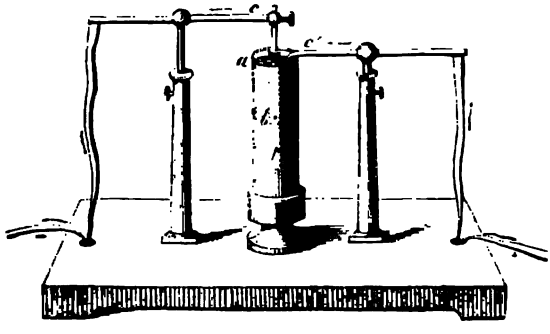
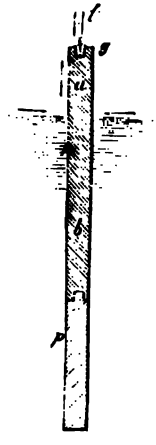


Fig. 226.



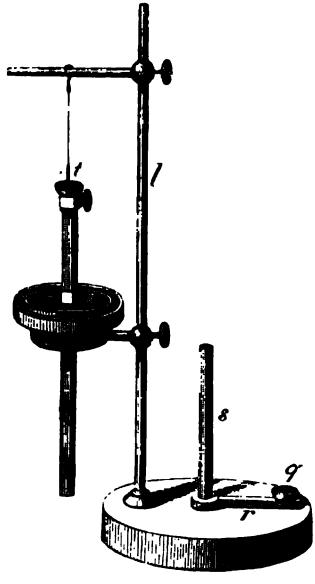
befindet ſich nämlich eine Höhlung, die man Fig. 226 deutlicher ſieht und die mit Queckſilber gefüllt wird; die Spitze des Stäbchens *t* ragt von oben in dieſes Queckſilber hinab, ohne jedoch den Magneten zu berühren, welcher auf dieſe Weiſe ſeine ganze Beweglichkeit behält. Sobald

die Kette in der Weise geschlossen wird, wie beim vorigen Versuch, dreht sich der Magnet wie ein Kreisel rasch um sich selbst.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise Statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich das Nordende oben, so dreht sich derselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist das Südende oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magneten um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man dasselbe Stativ anwenden, welches Fig. 219 und Fig. 222 abgebildet ist.

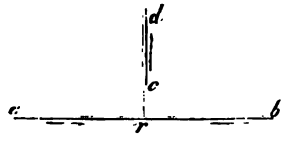
Fig. 227.



Die zu diesen Versuchen nöthige Anordnung ist Fig. 227 dargestellt. Die Rinne hat dieselbe Stellung, wie in Fig. 219, jedoch ist die Korkscheibe mit dem Magneten m und dem Kupferbügel b weggenommen, dagegen hängt nun, durch das Centrum der Rinne gehend, an einem seidnen Faden ein Magnetstab herab, so daß ein Theil seiner Länge über, ein Theil unter der Horizontalebene der Holzrinne sich befindet. Am oberen Ende des Magnetstabes ist eine Hülse angeschraubt, welche oben ein Quecksilbernäpfchen t trägt, in dessen Mitte der Faden befestigt ist, an welchem der Magnet hängt. Eine zweite Hülse ist in der Höhe der Holzrinne an den Magnetstab angeschraubt, von dieser führt ein Metallstäbchen, welches mit einer nach unten gebogenen Platinspitze versehen ist, zu der Rinne. Sobald das eine Polende der Kette in das Quecksilbernäpfchen t, das andere in die Holzrinne eingetaucht ist, beginnt die Rotation des Magneten um seine eigene Axe. Der Strom durchläuft das horizontale Stäbchen und das obere Ende des Magnetstabes.

94 **Rotation eines Stromes unter dem Einfluß eines anderen.** Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom ab und einen Strom cd, der parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreu-

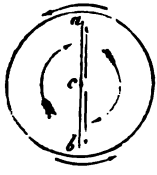
Fig. 228.



zungspunkt in r iſt, zwiſchen den Theilen cd und rb Anziehung, zwiſchen ar und cd aber Abſtoßung ſtattfinden. Jede dieſer beiden Kräfte läßt ſich in zwei andere zerlegen, von denen eine parallel mit ab und eine rechtwinklig auf ab iſt. Da cd nur parallel mit ab bewegt werden kann, ſo können die mit cd parallelen Compoſanten keine Wirkung hervorbringen; die mit ab parallelen aber vereinigen ſich zu einer Reſultirenden, welche den Strom cd in der Richtung von a nach b forttreibt.

Wenn der feſte Strom ab kreisförmig gebogen iſt, ſo muß ſich cd in Folge derſelben Wirkung beſtändig im Kreiſe herumdrehen, wie dies durch Fig. 229 deutlich gemacht wird, wo ab einen horizontalen Draht darſtellt, in welchem ſich der Strom von der Mitte c nach den Enden a und b bewegt. Der Kreis ſtellt einen horizontalen Strom dar, der in der Richtung der äußeren Pfeile circulirt. Die Rotation des Drahtes ab findet in der Richtung der inneren gekrümmten Pfeile Statt.

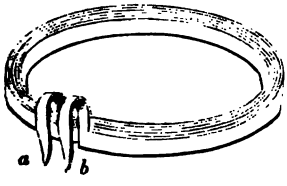
Fig. 229.



Ein Apparat, welcher dazu dienen kann, um eine ſolche Rotation hervorzubringen, iſt Fig. 230 dargeſtellt; er beſteht aus einem Gefäße von Kupfer, deſſen Mitte durchbrochen iſt, ſo daß ein vertikaler Metallſtab hindurchgehen kann, der oben mit einem Queckſilbernäpfchen endigt. Ein horizontaler Draht, welcher mit zwei Kugeln endigt, ſpielt auf einer feinen Spitze, welche auf dem Boden dieſes Queckſilbernäpfchens ruht. Zwei kurze vertikale Drähte gehen in das ſaure Waſſer des Gefäßes herab. Der Strom, welcher z. B. durch den vertikalen Stab in der Mitte aufſteigt, durchläuft in entgegengeſetzter Richtung die beiden Arme des horizontalen Drahtes und geht dann in das ſaure Waſſer über. Wenn man nun, während der Strom auf die angegebene Weiſe circulirt, das Gefäß mit einem ſpiralförmigen Leiter, Fig. 231, umgiebt, der aus einem mit Seide umwickelten Kupferſtreifen gebildet iſt, und durch welchen man einen Strom gehen läßt, ſo erhält man dadurch den kreisförmigen Strom. Wie wir früher geſehen haben, rotirt der horizontale Draht ſchon unter

Fig. 230.

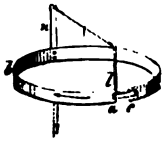
Fig. 231.



dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, allein die Wirkung des Stromes in dem Spiralbande überwiegt die des Erdmagnetismus bedeutend, was ſchon daraus hervorgeht, daß die Richtung der Rotation eine andere wird, ohne daß man die Richtung des Stromes im Drahte ändert, je nachdem man den Strom bei *a* oder bei *b* in das Spiralband eintreten läßt.

Savary hat eine intereſſante Abänderung dieſes Verſuchs angegeben; wenn man in einem dem vorigen ähnlichen Kupfergefäße ſtatt des horizontalen Drahtes den Apparat Fig. 232 aufſetzt, ſo beobachtet man ebenfalls eine Rotation, ohne Anwendung des Spiralbandes, welche ſich auf folgende Weiſe erklärt. Der vertikale Streifen *n* iſt aus einer nichtleitenden Subſtanz verfertigt, der Strom ſteigt alſo nur durch den Draht *l* nieder und durchläuft das Kupferband in der Richtung von *a* über *b* nach *c*, weil das Band zwiſchen *a* und *c* durch ein Stück Elfenbein unterbrochen iſt. Von dem Bande geht der Strom theils zum Rande, theils zum Boden des Gefäßes über, indem er durch die Flüſſigkeit hindurchgeht, und dieſe partiellen Ströme in der Flüſſigkeit können als feſt in Beziehung auf das bewegliche Band betrachtet werden, dieſes muß ſich alſo in der Richtung *cab* drehen; ja es würde ſich noch in derſelben Richtung drehen, wenn der Strom nicht aus dem Bande in die Flüſſigkeit, ſondern aus der Flüſſigkeit in das Band überginge. Um die Richtung der Rotation umzukehren, müßte die Unterbrechung des Bandes links von *l* angebracht ſeyn. Wäre das Band nicht unterbrochen, ſo hätten die Ströme in der Flüſſigkeit gar keinen Einfluß mehr, oder vielmehr ihr Einfluß höbe ſich gegenſeitig auf, indem der Strom von *l* aus ſich nach beiden Seiten verbreitete.

Fig. 232.



So wie man früher die elektriſchen Anziehungen und Abſtoßungen zu einer Menge von elektriſchen Spielereien benutzte, ſo hat man jetzt auch die elektromagnetiſchen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigſte Weiſe variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachſten Formen kennen gelernt zu haben.

95 **Einwürfe gegen Ampère's Theorie.** Gegen die Erklärung, welche die Ampère'ſche Theorie von einigen der erwähnten Rotationserſcheinungen giebt, laſſen ſich in der That gegründete Einwendungen machen; namentlich macht Weber darauf aufmerkſam, daß die angegebene Erklärung der Rotation eines Magneten um ſeine eigene Axe (ſiehe Fig. 227) unzuläſſig ſey, weil die Wirkung eines Stromes im Magneten ſelbſt auf die magnetiſchen Theilchen unmöglich eine Bewegung deſſelben Syſtemes zur Folge haben könne. Wenn mehrere materielle Punkte

zu einem feſten Ganzen vereinigt ſind, ſo kann dieſes Ganze nicht durch Kräfte in Bewegung geſetzt werden, die zwiſchen den einzelnen Punkten dieſes Syſtemes wirken: wenn man, in einem Wagen ſitzend, noch ſo ſtark gegen die Vorderwand deſſelben drückt, ſo bleibt er doch ſtehen.

Wenn ſich auch die Ampère'ſche Theorie gegen dieſe Einwürfe nicht halten läßt, ſo leiſtet ſie uns doch in Beziehung auf die Orientirung in der Maſſe der Erſcheinungen große Dienſte.

Will man die Ampère'ſche Theorie ganz fallen laſſen, ſo muß man von der in Nro. 92 angeführten Erſcheinung, daß ein elektriſcher Strom, welcher nur dem einen Pole eines mit dem Strome parallelen freibeweglichen Magneten gegenüberſteht, dieſen Pol je nach ſeiner Natur nach der einen oder andern Seite zu drehen ſtrebt, als von einer Fundamentalerſcheinung ausgehen und dann daraus alle übrigen Erſcheinungen ableiten, welche die gegenſeitige Einwirkung von Strömen in Magneten darbieten.

Zweites Kapitel.

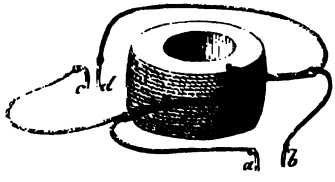
Inductionserſcheinungen.

96 Ein elektriſcher Strom kann im Moment ſeines Beginnens oder Aufhörens oder auch durch bloße Annäherung oder Entfernung in einem andern benachbarten Leiter gleichfalls elektriſche Ströme erzeugen.

Dieſe Erſcheinungen wurden im Jahre 1838 von Faraday entdeckt und verdienen die größte Aufmerkſamkeit, theils wegen ihrer theoretiſchen Wichtigkeit, theils wegen der zahlreichen Thatſachen, welche ſich aus dieſem Princip ergeben. Dieſe neuen Ströme, welche in den Leitern durch die vertheilende Wirkung anderer Ströme hervorgebracht werden, führen den Namen der Inductionsſtröme. Man könnte ſie auch temporäre Ströme nennen, weil ſie nur einen Augenblick dauern. Wollte man ſie nach ihrem Urſprunge nennen, wie man dies bei den thermoelektriſchen und den hydro-elektriſchen gethan hat, ſo könnte man ſie magno-elektriſche oder elektro-elektriſche nennen, weil ſie entweder durch Magnetismus oder Elektricität erzeugt werden. Wir wollen ein für allemal den Namen Inductionsſtröme beibehalten, welcher auch von der Mehrzahl der Phyſiker angenommen iſt.

97 **Wirkung eines elektriſchen Stromes auf einen in ſich geſchloſſenen leitenden Kreis.** Auf eine Spule von Holz oder Metall ſeyen zwei mit Seide überzogene Kupferdrähte ſo aufgewickelt, wie man Fig. 233 ſieht. Der eine Draht läuft hier immer neben dem andern her, ohne daß eine leitende Verbindung zwiſchen ihnen ſtattfindet; wenn man alſo mit dem einen Draht eine galvaniſche Kette ſchließt, indem man ſeine beiden Enden *a* und *b* mit den Polen derſelben in Verbindung ſetzt, ſo circulirt in dieſem Drahte der Strom, ohne daß er jedoch auf den andern Draht übergehen könnte. In dieſem andern Drahte aber wird durch die Wirkung dieſes Stromes ein Strom in entgegengeſetzter Richtung hervorgebracht, wenn nur die Enden *c* und *d* dieſes zweiten Drahtes in leitender Verbindung ſind. Dieſe leitende Verbindung kann man durch einen Multiplicator herſtellen, indem man *c* mit dem einen, *d* mit dem andern Multiplicatordraht in Berührung bringt. In dem Augenblick, in welchen man durch den erſten Draht die galvaniſche Kette ſchließt, zeigt eine Ablenkung der Multiplicatornadel einen Strom im Nebendraht an; geſetzt, der poſitive Strom gehe im Hauptdrahte von *a* nach *b*, ſo zeigt der Multiplicator einen Strom im Nebendraht an, welcher in der Richtung von *d* nach *c* denſelben durchläuft.

Fig. 233.



Dieſer Strom im Nebendraht iſt jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt alsbald wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück; ſobald aber der Hauptſtrom unterbrochen wird, ſchlägt die Galvanometernadel nach der entgegengeſetzten Richtung aus, ſie zeigt alſo nun einen Strom, der den Nebendraht in der Richtung von *c* nach *d*, alſo in derſelben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptſtrom ſich bewegt hatte.

Ein elektriſcher Strom kann alſo in einem nahe liegenden in ſich geſchloſſenen Drahte im Moment ſeines Entſtehens und ſeines Aufhörens Ströme induciren. Der Strom, welcher bei der Schließung der Kette inducirt wird, hat die entgegengeſetzte, der bei dem Unterbrechen der Kette inducirte dieſelbe Richtung wie der Hauptſtrom.

Bei dem eben angeführten Verſuche inducirte der Strom im Hauptdraht einen Strom im Nebendraht im Moment ſeines Beginnens und ſeines Aufhörens; man könnte alſo vermuthen, daß dieſe Wirkungen durch irgend welche Modificationen hervorgebracht würden, welche den Anfang und das Aufhören des Stromes begleiten. Um hierüber alle Zweifel zu heben, hat Faraday durch Verſuche dargethan, daß man genau dieſelben

Reſultate erhält, wenn man einen Leitungsdraht, welcher von einem Strome durchlaufen wird, alſo den Draht, von welchem die inducirende Wirkung ausgeht, demjenigen Drahte nähert oder entfernt, in welchem ein Strom inducirt werden ſoll.

Wenn man alſo ſagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geſchloſſenen Leiter beginnt, ſo iſt darunter entweder zu verſtehen, daß der inducirende Strom ſelbſt erſt beginnt, oder daß er ſchon im Gange war und dem geſchloſſenen Leiter genähert wird. In dieſen beiden Fällen ſind die Wirkungen ganz gleich. Wenn man ſagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geſchloſſenen Leiter hört auf, ſo heißt das, daß der inducirende Strom entweder ſelbſt aufhört oder von dem geſchloſſenen Leiter entfernt wird.

Die inducirten Ströme bringen alle Wirkungen der gewöhnlichen Ströme hervor, namentlich auch Funken und Schläge. Wenn die Drahtenden *c d* ganz nahe zuſammengebracht werden, ſo ſieht man hier einen Funken überſpringen, wenn durch die Enden *a* und *b* des inducirenden Drahtes die Kette geſchloſſen wird. Faßt man das Drahtende *c* in die eine, *d* in die andere Hand (die Hände müſſen bei dieſem Verſuche etwas angefeuchtet ſeyn), ſo fühlt man beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtromes einen Schlag, der um ſo ſtärker iſt, je länger der aufgewundene Draht iſt.

Mit Hülfe der eben beſprochenen doppelten Spirale kann man ſehr intenſive Wirkungen auf die Nerven hervorbringen, denn wenn die aufgewundenen Drähte eine bedeutende Länge haben, iſt die Intenſität des Inductionsſtromes ohne Vergleich ſtärker als die des Stromes, welchen die angewandte galvaniſche Kette an und für ſich giebt. Eine einfache galvaniſche Kette, ſelbſt eine Batterie von 4, 6, ja 12 Paaren giebt an und für ſich keinen Schlag. Schließt man aber mit den Enden des inducirenden Drahtes eine Kette von wenigen, ja nur von einem Paare, ſo erhält man am Inductionsdraht einen kräftigen Schlag.

Eine Inductionsſpirale verwandelt alſo gewiſſermaßen die elektriſche Quantität eines Stromes, wie ihn ein oder mehrere Paare von großer Oberfläche geben, in einen Strom von großer Intenſität; eine ſolche Inductionsſpirale bietet alſo ein treffliches Mittel, um phyſiologiſche Effecte hervorzubringen, namentlich wenn man dafür ſorgt, daß die Kette in raſcher Aufeinanderfolge bald geſchloſſen und dann wieder geöffnet wird. Dies wird nun auf eine äußerſt ſinnreiche Weiſe durch einen von Neef und Wagner conſtruirten Apparat hervorgebracht, der ſich wohl mehr als irgend ein anderer für phyſiologiſche und mediciniſche Zwecke eignet, und den wir deshalb auch hier näher betrachten wollen.

In Fig. 234 ſieht man eine Inductionsſpirale, ganz von derſelben Art, wie die ſchon oben, Seite 246, betrachtete. Um die Windungen des einen

Drahtes leicht von denen des andern unterſcheiden zu können, ſind beide Dräthe nicht mit gleichfarbiger Seide überſponnen, der eine etwa blau, der andere gelb. Der eine Pol der galvaniſchen Kette iſt durch einen Draht *a b* mit einem Queckſilbernäpfchen *b* verbunden; von *b* wird der

Fig. 234.

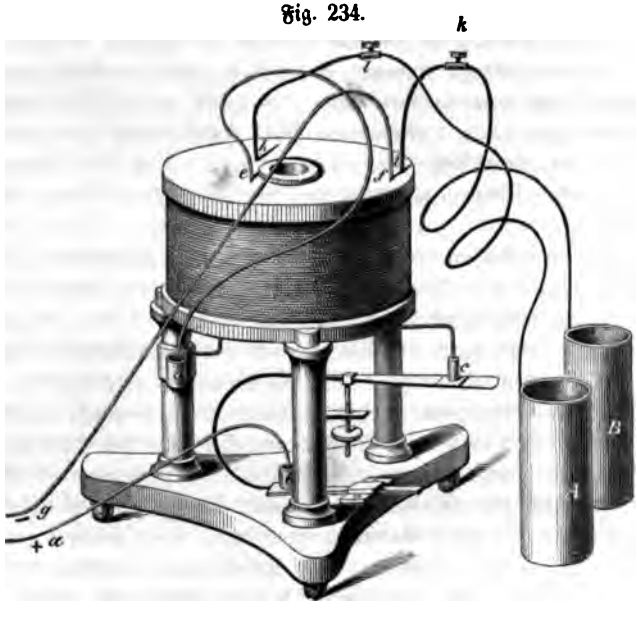
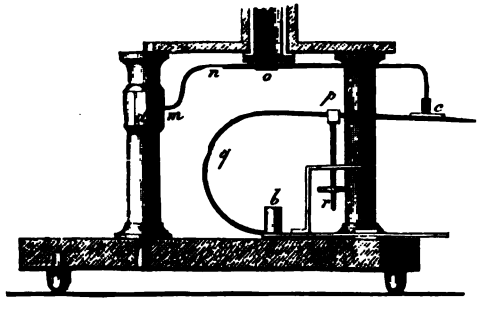


Fig. 235.



Strom auf eine Weiſe, die wir gleich werden näher kennen lernen, nach dem Queckſilbernäpfchen *d* geführt. In dieſes Näpfchen aber taucht das eine Ende des inducirenden Drahtes, welcher bei *e* in die Spule eintritt und ſie bei *f* nach vielfachen Windungen wieder verläßt; das Drahtende *fg*

iſt mit dem andern Pol der Kette in Verbindung, der inducirende Strom geht alſo von *a* über *b*, *c*, *d*, *e*, *f* nach *g*.

Der inducirte Draht tritt bei *h* in die Spule ein, läuft immer neben dem inducirenden Drahte her und tritt bei *i* aus; die beiden Enden dieſes Drahtes ſind *h l* und *i k*.

Die Verbindung zwiſchen den Queckſilbernäpfchen *b* und *d* iſt in Fig. 235 deutlicher zu ſehen. Um den einen der drei Pfeiler, welche die Inductionsrolle tragen, iſt ein Metallring gelegt, und an dieſen iſt dann das Queckſilbernäpfchen *d* angelöthet, an dieſem Ringe iſt aber auch ein Kupferdraht *m n o c* befeſtigt, welcher horizontal dicht unter der Inductionsrolle herläuft und bei *c* mit einem kleinen Hämmer von Platin endigt. Dieſer Hammer ruht auf einem Platinplättchen, welches auf den Kupferdraht aufgelöthet iſt, der über *p* und *q* zum Queckſilbernäpfchen *b* führt. Der obere der beiden eben betrachteten Kupferdrähte iſt bei *n* platt geklopft, ſo daß dieſe dünne Stelle gleichſam eine Axe bildet, um welche man das Drahtende *o c* leicht auf und nieder bewegen kann; hebt man das rechte Ende des Drahtes, ſo wird dadurch das Hämmerchen bei *c* von der Platinplatte abgehoben, der Strom alſo an dieſer Stelle unterbrochen. Das Heben und Senken des Drahtes *n o c* wird aber durch den Apparat ſelbſt verrichtet. Die Inductionsrolle iſt nämlich mit einem hohlen Cylinder von weichem Eiſen gefüttert, welches magnetiſch wird, ſobald ein Strom den inducirenden Draht durchläuft; bei *o* iſt aber an dem Drahte, der unter der Inductionsrolle herläuft, eine horizontale Eiſenplatte befeſtigt, die ſich ganz nahe unter jenem Eiſenkerne befindet; wird nun das Eiſen magnetiſch, ſo wird die Platte gehoben, dadurch aber wird der Strom bei *c* unterbrochen, der Eiſenkern verliert ſeinen Magnetismus, die vorher gehobene Eiſenplatte fällt wieder ab, das Hämmerchen bei *c* fällt alſo auch wieder auf das Platinplättchen, wodurch auch die Circulation des Stromes wieder hergeſtellt wird. Alsbald wird aber auch die Eiſenplatte *o* und das Hämmerchen bei *c* wieder gehoben, der Strom alſo abermals unterbrochen, um ſogleich wieder hergeſtellt zu werden u. ſ. w.

Die Schnelligkeit, mit welcher die Unterbrechungen des Stromes auf einander folgen, hängt von der Entfernung der Eiſenplatte vom Eiſenkern ab; um dieſe nun reguliren zu können, iſt die Stellſchraube *r* angebracht, mittelſt deren das Drahtſtück *p c*, alſo auch der Draht *c o n*, höher oder tiefer geſtellt werden kann.

Um nun durch den inducirten Strom recht kräftige phyſiologiſche Wirkungen hervorzubringen, ſind an den Enden der Inductionsſpirale zwei Drähte mit den metallenen Cylindern *A* und *B* befeſtigt, die man in die etwas angefeuchteten Hände nimmt, oder die man mit Waſſer füllt und

die Finger in dieses Wasser taucht. Als Elektricitätsquelle nimmt man am besten irgend eine constante Kette von einem oder mehreren Paaren. Die Schläge dieses Apparates sind so stark, daß sie sich durch eine Reihe von mehreren Personen fortpflanzen, wenn diese sich mit benetzten Händen anfassen. Ein sehr interessanter Versuch besteht darin, daß man statt jener Cylinder zwei etwa handgroße Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den größten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt. Man begreift wohl, wie wichtig solche Bäder für die ärztliche Anwendung seyn können.

Auch der Strom im Schließungsdrahte einer Leydner Flasche kann in benachbarten geschlossenen Leitern einen Inductionsstrom erzeugen, die Richtung des Inductionsstromes ist aber hier der des inducirenden Entladungsstromes gleich gerichtet, was wohl begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß bei der kurzen Dauer des Entladungsschlages nur die Wirkung des aufhörenden Stromes nachgewiesen werden kann.

98 **Einwirkung der Windungen auf einander.** Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so erhält man nur einen schwachen Funken, wenn man die Kette wieder öffnet; einen Schlag erhält man dabei nicht; wendet man aber statt des kurzen einen sehr langen Draht an, so sieht man beim Oeffnen der Kette einen ungleich stärkeren Funken überspringen, und, wenn man das eine Drahtende in der einen, das andere in der andern Hand hält, so fühlt man im Moment des Oeffnens einen Schlag. Diese Wirkungen werden dadurch ganz außerordentlich verstärkt, daß man den Draht aufwindet, und zwar so, daß die einzelnen Windungen möglichst nahe zusammenliegen; um dies möglich zu machen, muß natürlich der Draht mit Seide übersponnen seyn, damit der Strom nicht seitwärts von einer Windung zur nächsten übergehen kann.

An dem oben, Seite 209, beschriebenen Apparate Fig. 179, wurde die eben besprochene Wirkung sehr langer gewundener Drähte im Jahre 1832 ganz unversehens beobachtet. Wenn man nämlich die Kette unterbricht, indem man die Enden *n* und *p* des 2000 Meter langen Drahtes aus den Quecksilbernäpfchen zieht, so sieht man einen sehr hellen Funken überspringen, während der Funken der Säule selbst kaum sichtbar ist; und wenn man diese beiden Drahtenden mit etwas feuchten Händen anfaßt und dann aus dem Quecksilber zieht, so erhält man einen fast niederschmetternden Schlag.

Man kann dieſe Wirkung langer Drahtſpiralen ſehr gut mit einer einfachen Spirale, Fig. 236, zeigen; man hat zu dem Ende nur die Drahtenden *m* und *n* in die Queckſilbernäpfchen zu tauchen, welche die Pole einer galvaniſchen Kette bilden, ſo wird man beim Herausnehmen der Drahtenden den verſtärkten Funken ſehen und den Schlag fühlen. Um aber dieſe Schläge in raſcher Folge bequem durch den Körper gehen zu laſſen, kann man den oben ſchon beſprochenen Neef'ſchen Apparat, Fig. 237, anwenden. Laſſen wir zuerſt die Drahtſpirale, in welcher bei den obigen Verſuchen der Strom inducirt wird, ganz aus dem Spiele, denken wir uns, die Drahtſpirale, welche die galvaniſche Kette ſchließt, ſey allein vorhanden; ein Kupferdraht, der mit einem metalliſchen Cylinder endigt, ſey in das Queckſilbernäpfchen *b*, ein gleicher in das Näpfchen *d* eingetaucht. Wenn man nun die beiden Metallcylinder in die Hände faßt, ſo erhält man einen heftigen Schlag, ſo oft durch das Aufheben des Hämmerchen bei *c* die Kette geöffnet wird.

Fig. 236.

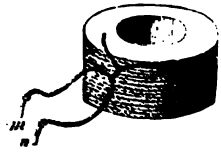


Fig. 237.

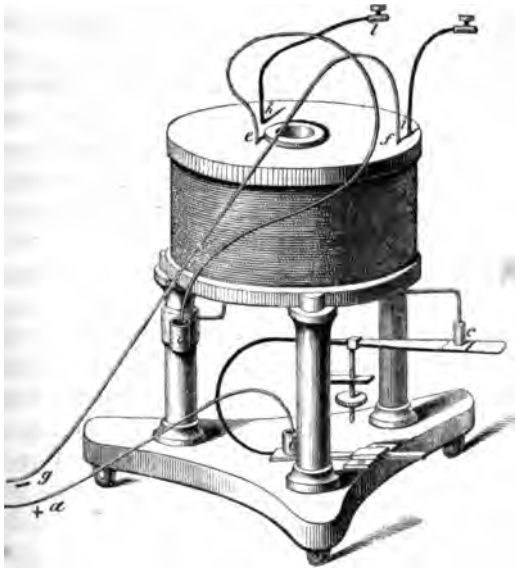
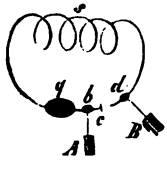
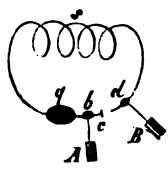


Fig. 238.



Der wahre Hergang läßt ſich vielleicht an dem Apparate ſelbſt nicht gleich beim erſten Anblick überſehen, durch das Schema Fig. 238 wird er aber ganz deutlich werden. Es ſtellt *q* das galvaniſche Element vor; von dem einen Pol deſſelben geht der Strom, wenn die Kette nicht unterbrochen iſt, zuerſt zum Queckſilbernäpfchen *b*, dann über die Trennungsſtelle *c* nach dem zweiten Queckſilbernäpfchen *d* und von dieſem durch die

Fig. 239.



Spirale *s* zum andern Pol der Kette; wird aber die Kette bei *c* geöffnet, ſo geht der Schlag durch den Körper, welcher die Metallcylinder bei *A* und *B* verbindet.

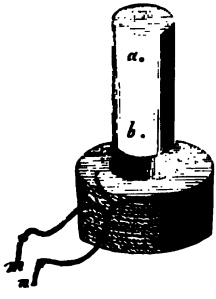
Die Wirkung läßt ſich bei dem eben beſprochenen Verſuch mit dem Neef'ſchen Apparate noch dadurch bedeutend verſtärken, daß man die beiden Spiraldrähte ſo verbindet, daß ſie einen einzigen von doppelter Länge bilden. Dies kann auf folgende Weiſe bewerkſtelligt werden: die Enden der einen Spirale endigen mit Hülſen, in welche man jeden beliebigen Draht einſtecken und durch das Schräubchen feſtklemmen kann. Klemmt man in dieſe Hülſen die Drähte feſt, welche zu den Metallcylindern *A* und *B* führen, ſo iſt der Apparat für die auf Seite 248 beſprochenen Verſuche vorgerichtet; um aber die beiden Spiralen zu einer einzigen von doppelter Länge zu vereinigen, hat man nur das Ende *g* des bei *f* austretenden gelben Drahtes in die Hülſe *l* einzuklemmen. Der Strom nimmt alsdann folgenden Weg: bei *e* tritt er in die gelbe Spirale ein, durchläuft dieſelbe, tritt bei *f* aus den Windungen aus, geht dann in den blau überſponnenen Draht über, in welchem er denſelben Weg noch einmal durchläuft, um bei *i* zum zweitenmale aus den Windungen auszutreten; in der Hülſe, mit welcher der bei *i* austretende blaue Draht endigt, wird der Draht eingeklemmt, welcher zum andern Pol der galvaniſchen Kette führt.

Was nun die Erklärung dieſer Erſcheinung betrifft, ſo ſieht man wohl leicht ein, daß ſie mit den vorher beſprochenen Inductionserſcheinungen in ſehr naher Beziehung ſtehen. Faraday ſchreibt dieſe Effecte einer inducirenden Wirkung zu, welche die Windungen einer und derſelben Drahtſpirale auf einander ausüben, und nennt dieſen Inductionsſtrom einen Extraſtrom (extracurrent). Dieſer Extracurrent entſteht im Moment des Schließens und des Oeffnens der Kette; bei der Schließung hat der Extraſtrom eine dem Hauptſtrome entgegengeſetzte Richtung; daher beim Schließen keine merkliche Wirkung; beim Oeffnen der Kette aber hat der Extraſtrom gleiche Richtung mit dem primären, daher denn die kräftigen Wirkungen beim Unterbrechen der Kette. Dove hat vor Kurzem (Pogg. Ann. LVI. Seite 251) das wirkliche Vorhandenſeyn dieſer Gegenſtröme, welches durch Faraday's Unterſuchungen noch nicht außer Zweifel geſetzt, war, durch eine ſinnreich angeordnete Reihe von Verſuchen nachgewieſen.

99 **Induction elektriſcher Ströme durch Magnete.** Ein mit Seide umſponnener Metalldraht ſey um eine hölzerne oder metallene Spule gewickelt, deren innere Oeffnung ſo groß iſt, daß man einen Magneten hineinſtecken kann. Die beiden Enden *m* und *n* des Drahtes werden mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes eines Galvanometers in Ver-

bindung gebracht, welches hinlänglich weit entfernt ist, daß der Magnet selbst nicht ablenkend auf die Nadel des Instrumentes wirkt. In dem Augenblicke, in welchem man den Magneten in die Spule hineinsteckt, bemerkt man auch eine Ablenkung der Galvanometernadel, die jedoch bald wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückkehrt, um von Neuem, und zwar nach der entgegengesetzten Richtung, sich zu bewegen, wenn man den Magneten aus der Spule zurückzieht. Die Richtung des Stromes, welche das Galvanometer bei der Annäherung des Magneten anzeigt, ist der Richtung der Ströme entgegengesetzt, welche nach der Ampère'schen Theorie den Magneten umkreisen; der bei der Entfernung des Magneten im Drahte inducirte Strom hat mit jenen Strömen gleiche Richtung.

Fig. 240.



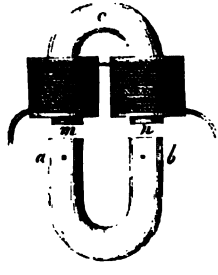
Wenn man ein sehr empfindliches Galvanometer hat, ist es gar nicht einmal nöthig, daß man einen so langen Draht auf eine Spule wickelt, um den durch einen Magneten inducirten Strom nachzuweisen; ja man hat nicht einmal nöthig, einen gewundenen Draht anzuwenden, man braucht nur die beiden Enden eines einfachen Drahtes mit den beiden Enden des Galvanometerdrahtes zu verbinden und dann dem Drahte einen Magneten zu nähern und sogleich wieder zu entfernen, dann wieder zu nähern und wieder zu entfernen u. s. w., wodurch die Nadel in hinlänglich merkliche Oscillationen versetzt wird. Wenn man nämlich den Magneten zum erstenmale nähert, so wird ein freilich sehr kleiner Ausschlag, etwa nach der rechten Seite, erfolgen; die Nadel würde nun zurückgehen und nach wenigen Oscillationen, die immer kleiner werden, ganz zur Ruhe kommen, wenn man den Magneten nicht wieder entfernte; wenn man aber während des Rückganges der Nadel den Magneten entfernt, so wird nun die Nadel nicht allein durch ihre Trägheit über den Nullpunkt hinausgetrieben, diese Bewegung wird noch durch den Inductionsstrom beschleunigt, welcher durch die Entfernung des Magneten hervorgebracht wird; nun muß also ein Ausschlag nach der Linken erfolgen, der schon größer ist als der bei der ersten Annäherung des Magneten hervorgebrachte. Geht nun die Nadel wieder zurück, so wird der Magnet wieder genähert und dadurch ein abermals verstärkter Ausschlag nach der Rechten hervorgebracht u. s. w.

Bei diesem Versuch wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch die Annäherung oder die Entfernung des Magneten hervorgebracht; die magnetische Wirkung kann aber auch noch auf eine andere

Weiſe anfangen und aufhören; ſie kann in dem Augenblick anfangen, in welchem die magnetiſchen Flüſſigkeiten im Eiſen zerſetzt werden, und aufhören, wenn es wieder in den nichtmagnetiſchen Zuſtand zurückkehrt. Dies läßt ſich auf folgende Weiſe zeigen.

In Fig. 241 iſt *a b* ein ſtarker Hufeiſenmagnet, *m c n* iſt ein Stück weiches Eiſen, welches ebenfalls hufeiſenförmig gebogen iſt, und deſſen Schenkel mit vielfachen Windungen eines und deſſelben ſehr langen, mit Seide überſponnenen Drahtes bedeckt ſind. Die Richtung der Windungen auf beiden Schenkeln muß von der Art ſeyn, daß, wenn ein Strom durch den Draht ginge, die beiden Schenkel entgegengeſetzte Pole bildeten. Die beiden Enden des Drahtes werden in hinreichender Entfernung vom Eiſen und dem Magneten mit einander verbunden, und eine einfache Magnetnadel, über oder unter welcher man den Draht herleitet, wird ſchon durch den inducirten Strom abgelenkt. Wenn man den Magneten *a b* raſch den Schenkeln des Eiſenkerns *m n* nähert, ſo zeigt die Nadel einen Strom an, welcher die entgegengeſetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'ſche Theorie das weiche nun zum Magneten gewordene Eiſen umkreiſ't. Beim Entfernen des Magneten *a b* hat der inducirte Strom gleiche Richtung mit dem des nun aufhörenden im weichen Eiſen.

Fig. 241.



Man kann leicht zeigen, daß dieſer im Draht inducirte Strom nicht die directe Wirkung der magnetiſchen Pole des genäherten Magneten iſt; denn dieſer Strom erlangt eine ſolche Intenſität, daß, wenn man die beiden Drahtenden nicht in völlige Berührung, ſondern nur in eine ſehr kleine Entfernung von einander bringt, ein lebhafter Funken überſpringt, ſowohl, wenn der Magnet raſch genähert, als auch, wenn er entfernt wird. Dieſer elektriſche Funken iſt offenbar durch magnetiſche Wirkungen hervorgebracht worden. Wenn man jedes Drahtende in eine Hand nimmt, ſo ſpürt man bei Annäherung und Entfernung des Magneten einen Schlag, welcher, wenn der Magnet ſtark genug iſt, dem Schlage einer kleinen Leydner Flaſche verglichen werden kann.

Selbſt durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Wenn man einen Stab von weichem Eiſen, der mit einem Schraubendraht umwunden iſt, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, dann aber raſch umdreht, ſo daß das obere Ende unten, das untere oben hin kommt, ſo wird in dem Schraubendraht ein Strom inducirt.

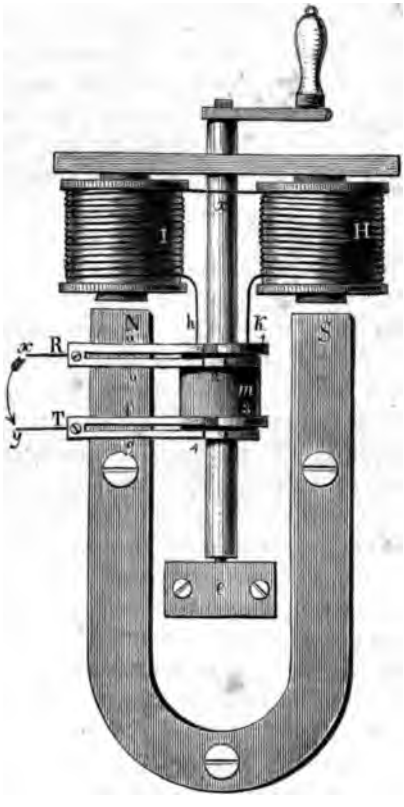
Wenn das innere Hufeisen des Apparates Fig. 153, Seite 212 unter den dort angegebenen Umständen rotirt, so müssen bei der Annäherung der Schenkel des inneren Hufeisens gegen die Schenkel des äußeren in den Drahtwindungen Ströme inducirt werden, die nach den eben entwickelten Gesetzen denen entgegengesetzt sind, welche die Rotation veranlassen: diese durch die Rotation inducirten Ströme müssen also nothwendig die Kraft schwächen, mit welcher sich die Schenkel der beiden Hufeisen anziehen und abstoßen; und so tragen denn diese inducirten Ströme wesentlich dazu bei, daß der mechanische Effect, welchen solche Rotationsapparate liefern, weit geringer ist, als man nach der Stärke des Magnetismus erwarten sollte, welcher einem weichen Eisen durch einen galvanischen Strom mitgetheilt werden kann.

Magneto-elektrische Rotationsmaschine. Denken wir uns die 100
Enden der auf S. 254 betrachteten Inductionsspiralen, welche sich an den beiden Polen eines hufeisenförmigen weichen Eisenkerns befinden, in leitende Verbindung gebracht, dann dieses weiche Eisen um eine vertikale Axe rasch umgedreht, so daß der Pol *m*, der sich eben über *a* befindet, nach einer halben Umdrehung über *b* steht, so wird, weil *m* sich von *a* und *n* von *b* entfernt, in den Drahtwindungen ein Strom inducirt; dieser Strom nun dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort, nämlich während *m* von *a* bis *b* und *n* von *b* bis *a* gedreht wird; sobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert sich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechseln: wenn also das weiche Eisen mit seinen Drahtwindungen rasch rotirt, so werden diese Windungen beständig von alternirenden Strömen durchlaufen, die jedesmal in einander übergehen, wenn die Pole des weichen Eisens über den Polen des Magneten stehen. Daß die Richtung der Ströme wirklich in der oben angegebenen Weise wechselt, ergiebt sich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da *a* und *b* entgegengesetzte Pole sind, so muß das Entfernen von *a* einen Strom in derselben Richtung induciren wie ein Annähern gegen den Pol *b*.

Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princip besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen Rotationsmaschine führen. Die erste Maschine der Art construirte Pixii im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch Saxton, Clarke, Ettingshausen, Petrina und Stöhrer. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest

und die Inductionsſpiralen beweglich. Fig. 242 ſtellt eine ganz einfache magneto-elektriſche Rotationsmaſchine mit Stöhrer'ſchem Commutator dar.

Fig. 242.



Die Inductionsſpiralen I und H ſind um zwei Cylinder von weichem Eiſen gewickelt, welche an den beiden Enden einer Eiſenplatte befeſtigt ſind, deren Mitte auf einer horizontalen eiſernen Axe aufſitzt. Die Umdrehung der Axe geſchieht, wie man dies aus der Figur erſehen kann, mittelſt einer Kurbel. Während der Rotation gehen nun die beiden Eiſenkerne an den Polen N und S eines kräftigen Hufeiſenmagneten vorüber, und jeder Eiſenkern wird dadurch abwechſelnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

Das ganze rotirende Syſtem, mit allem was daran befeſtigt iſt, wollen wir den Inductor nennen.

Die Windungen um beide Eiſenkerne bilden natürlich ein einziges ununterbrochenes langes Drahtſtück. h iſt das eine Drahtende; nachdem der Draht, in vielen Windungen um den einen Eiſenkern herumgehend, die Spirale I gebildet hat, geht er bei x auf die andere Seite über, bildet die andere Drahtſpirale H, welche bei k endigt.

Sobald die Drahtenden h und k in leitende Verbindung ſind, entſteht in den Windungen ein Inductionsſtrom, wenn der Inductor gedreht wird. Die Richtung des Stromes hängt von der Art der Aufwindung ab. Nehmen wir an, der Draht ſey ſo aufgewunden, daß bei x der poſitive Strom ſtets von der Spirale, welche ſich gerade von unten her dem Pol S nähert,

zu derjenigen übergeht, welche von unten her dem Pol N entgegengeht. In dem Moment, in welchem der Inductor gerade die in unſerer Figur gezeichnete Stellung hat, wo alſo I unten bei N und H oben bei S ankommt, geht alſo der poſitive Strom von k durch die Spirale H, dann durch x in die Spirale I und das Drahtende h, um durch die metalliſche Verbindung von h in k überzugehen; nach einer halben Umdrehung aber wird H dem Pol N entgegengehen, und nun circulirt der Strom in entgegengeſetzter Richtung, nun iſt k das poſitive und h das negative Drahtende.

Es kommt nun darauf an, zwiſchen k und h während der Rotation des Inductors eine leitende Verbindung ſo herzuſtellen, daß man beliebige Körper, durch welche man den Strom leiten will, einſchalten kann. Dies geſchieht durch den Commutator, deſſen Einrichtung aus Fig. 242, dem Durchſchnitt, Fig. 243, und der perſpectiviſchen Anſicht, Fig. 244, klar ſeyn wird.

Fig. 243.

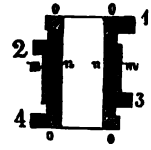
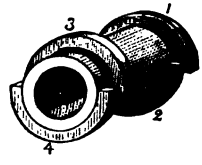


Fig. 244.



An den beiden Enden des Meſſingrohrs m ſind zwei Stahlkämme 2 und 3 ſo aufgelöthet, daß ſie genau gegenüberliegen und die Enden derſelben ſich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demſelben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt (in Fig. 242 iſt der Durchſchnitt des Buchsbaumrohres ganz ſchwarz gemacht), iſt ein zweites Meſſingrohr, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorſprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehte Ringe o von gleichem Durchmeſſer mit dem Rohre m; auf dieſe Ringe ſind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correſpondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichſten in Fig. 244 ſieht.

Dieſes ganze Syſtem iſt auf der Umdrehungsaxe befeſtigt.

Das Drahtende k führt zum Kamm 1, das Drahtende h führt zum Kamm 2.

Zwei flache dünne Stahlfedern R und T ſind an dem Geſtelle der Maſchine ſo angebracht, daß ihre vorderen geſchlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; ſie können nach Belieben mittelſt einer Schraube mehr oder weniger geſpannt werden.

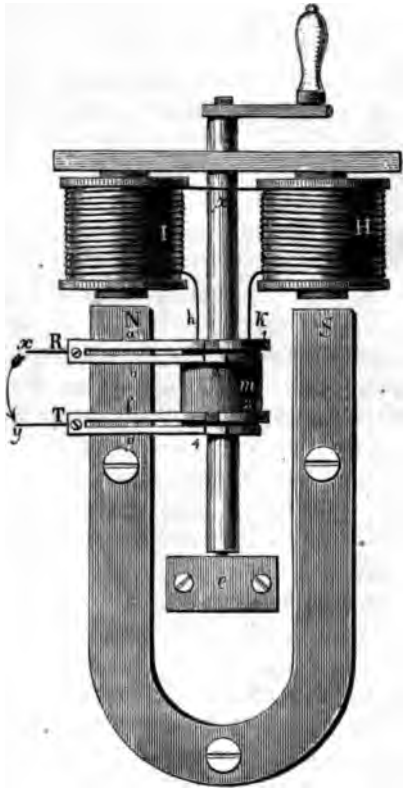
Die Feder R theilt ſich in die beiden Gabeln a und b, die Feder T theilt ſich in f und g.

Vermittelſt der an den Federn R und S angeſchraubten Drähte x und y kann man den Inductionsſtrom durch jeden beliebigen Körper leiten. Die Drähte x und y ſeyen auf irgend eine Weiſe in leitender Verbindung.

In der Stellung, welche die Figur darſtellt, ſchleift b auf dem Kamm 2,

g auf 4, während *a* und *f* frei ſind. Da nun eben 2 von *h* die poſitive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende *k* in leitender Verbindung ſteht, ſo circulirt der poſitive Strom in folgender Richtung durch den Apparat. Von *h* geht er durch den Kamm 2 und die Gabel *b* zum Draht *x*, von *x* geht er auf *y* über, um über *g* und den Kamm 4 zum negativen Drahtende zu gelangen.

Fig. 245.



Nach einer halben Umdrehung wird *k* das poſitive und *h* das negative Drahtende, nun aber ſchleift auch *b* nicht mehr auf 2, und *g* nicht mehr auf 4, ſondern jetzt ſchleift *a* auf 1 und *f* auf 3, der poſitive Strom geht alſo von *k* durch 1, *a* und *x* nach *y*, man ſieht alſo, daß bei dieſer Vorrichtung die leitende Verbindung zwiſchen *x* und *y* ſtets in derſelben Richtung von einem elektriſchen Strome durchlaufen wird, wenn in demſelben Moment, in welchem ſich der Strom in den Inductionsrollen umkehrt, die Gabeln, welche bisher auf ihren Kämmen ſchleiften, dieſelben verlaſſen, und die bisher freien Gabeln auf ihre Kämme aufzuliegen kommen.

Da die Kämme noch etwas über einander greifen, ſo werden alle 4 Federn einen Augenblick gleichzeitig ſchleifen; d. h. 1 wird mit *a* ſchon in Berührung kommen, ehe 2 die Gabel *b* verläßt, ebenſo kommt 3 mit *f* ſchon in Berührung, ehe 4 die Gabel *g* verläßt. In dieſem Moment geht gar kein Strom durch die leitende Verbindung zwiſchen *x* und *y*, indem der Strom durch die Federn ſelbſt von den poſitiven Kämmen zu den negativen übergeht.

In dem Moment, in welchem ein Stahlkamm seine Feder verläßt, wird hier der Strom unterbrochen, wobei ein lebhafter Funken erscheint.

Wenn in die Verbindung zwischen x und y der menschliche Körper eingeschaltet ist, so erhält man bei jeder der oben erwähnten Unterbrechungen einen Schlag; bei rascher Umdrehung des Inductors folgen diese Schläge sehr schnell auf einander und bringen dann dieselben physiologischen Erscheinungen hervor, welche schon früher beschrieben wurden.

Leitet man die Drähte x und y zu einem Wasserzersetzungsapparat, so wird durch den bei der Rotation erzeugten Inductionsstrom Wasser zersetzt.

Wird der Verbindungsdraht zwischen x und y spiralförmig um ein weiches Eisen gewunden, so wird dieses durch den Inductionsstrom magnetisch.

Wenn der Inductionsstrom durch einen ganz dünnen und kurzen Platindraht geleitet wird, so wird derselbe glühend.

Um kräftige physiologische Wirkungen zu erhalten, muß man einen Inductor gebrauchen, der aus einer großen Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes gebildet ist; der Draht ist bei solchen Inductoren nicht unmittelbar auf den Eisenkern, sondern auf eine Spule von Holz aufgewunden. Bei anderen Versuchen, bei welchen man einen Strom von größerer Quantität, aber geringerer Intensität nöthig hat, wendet man dagegen einen Inductor an, der aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes gebildet ist; in diesem Falle ist der Draht unmittelbar auf die Eisenkerne gewunden. Man kann den einen Inductor den Intensitätsinductor, den andern den Quantitätsinductor nennen.

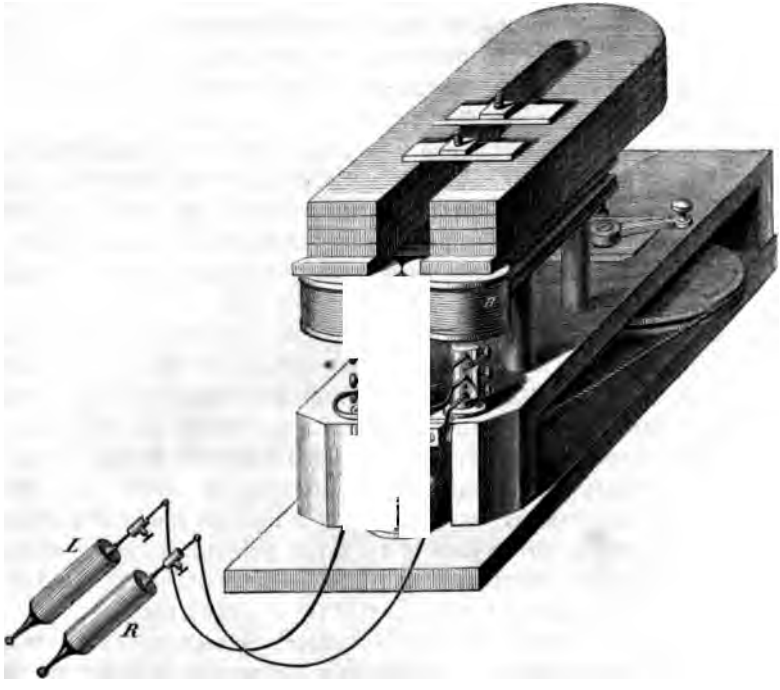
Um kurze und dünne Metalldrähte glühend zu machen, wendet man einen Quantitätsinductor, zu chemischen Zersetzungen wendet man den Intensitätsinductor an.

Die Fig. 245 ist eigentlich nur das Schema einer magnet-elektrischen Rotationsmaschine; wenn, wie es in dieser Figur der Fall ist, die Kurbel unmittelbar an der Umdrehungsaxe angebracht wäre, so würde man nicht im Stande seyn, eine hinlängliche Rotationsgeschwindigkeit zu erlangen, die Bewegung muß deshalb durch irgend eine Vorrichtung von der Kurbel zur Axe des Inductors so übertragen werden, daß die Inductoraxe sich rascher umdreht als die Kurbelaxe. Gewöhnlich geschieht dies dadurch, daß an der Kurbelaxe eine größere, an die Inductoraxe eine kleinere Scheibe befestigt ist, welche Scheiben dann durch einen Schnurlauf verbunden sind, wie man dies Fig. 246 (siehe folg. S.) sieht, welche Ettingshausen's Magnetelektrisirmaschine darstellt.

Bei dieser Maschine steht die Inductoraxe vertikal und die Inductionsrollen A und B rotiren unter den Magnetpolen. Die Einrichtung des Commutators ist hier complicirter als bei den Stöhrer'schen Maschinen; es läßt sich aber auch an diesen Maschinen ein Stöhrer'scher Com-

mutator anbringen. Die Ettinghauſen'ſchen Maſchinen ſind ſo ein-

Fig. 246.



gerichtet, daß man nach Belieben den Intenſitätsinductor mit dem Quantitätsinductor vertauſchen kann.

Stöhrer hat Magnetelektriſirmaſchinen mit drei vertikal ſtehenden Hufeiſenmagneten conſtruirt. Die 6 Pole dieſer Magnete ſind nach Oben gerichtet und liegen alle in einem Kreiſe; über dieſen Magnetpolen rotiren 6 Inductionsrollen. Die Inductionsrollen können ſo combinirt werden, daß ſie eine einzige ſehr lange Drahtleitung bilden, und dann liefern ſie einen Strom von großer Intenſität, d. h. einen ſolchen, welcher große Widerſtände zu überwinden im Stande iſt; man kann die Inductionsrollen aber auch ſo combiniren, daß ſie einen dreimal dickeren, aber auch dreimal kürzeren Draht repräſentiren, und dieſe Combination wird angewendet, um die Effecte hervorzubringen, für welche man an anderen Maſchinen einen Quantitätsinductor anſchraubt.

Die Wirkungen dieſer Maſchinen ſind kräftiger als die aller früheren Magnetelektriſirmaſchinen.

Der ſchon oben S. 214 beſchriebene Apparat Fig. 247 kann auch zur

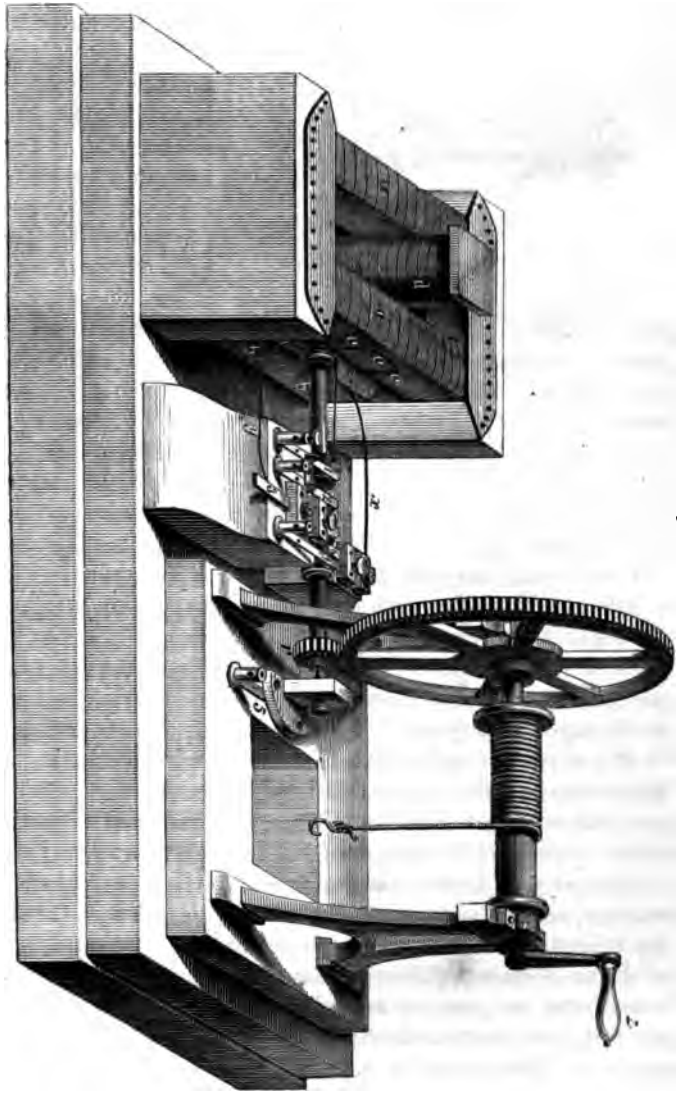
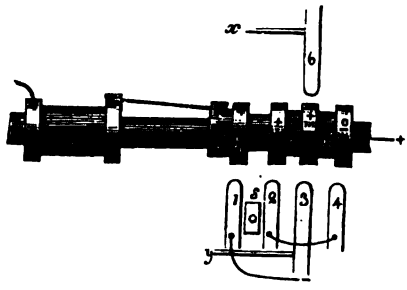


Fig. 247.

Hervorbringung von Inductionsſtrömen gebraucht werden. Zu dieſem Zwecke ſtellt man nur die Verbindungsbügel *s*, Fig. 248, parallel mit den Federn 1 und 2, ſo daß keine metalliſche Verbindung zwiſchen 1 und 2 beſteht; der negative Poldraht wird nun in das Säulchen der Feder 1 eingeſchraubt. Der Strom tritt nun durch die Feder 5 ein, durchläuft die Windungen des Elektromagneten und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können. Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z* umgedreht, ſo entſteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsſtrom, ſobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Fig. 248.



Da dieſer Inductionsſtrom durch den Commutator *m n* geht, ſo erhält man ihn gleich commutirt, d. h. ſtets in gleicher Richtung und nicht bei jeder Umdrehung einmal richtungswechſelnd, wie er in den Spiralen urſprünglich entſtand.

Dieſer Inductionsſtrom iſt ſtark genug, um einen dünnen Platindraht in's Glühen zu bringen. Beim Schließen und Oeffnen des Inductionsſtromes entſtehen Funken.

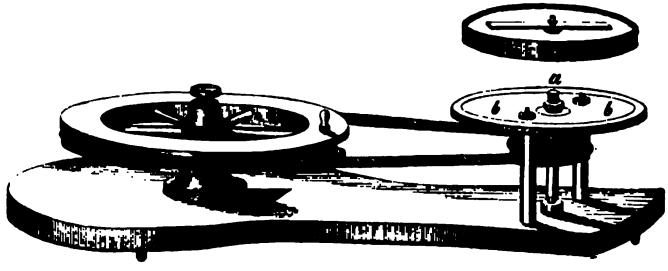
Wenn die Spiralen der Rahmen nicht geſchloſſen ſind, ſo kann natürlich auch kein Strom in denſelben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, ſo rotirt der Elektromagnet mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit, welche ſogleich abnimmt, wenn man durch metalliſche Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenſpirale ſchließt, ein Beweis, daß der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magneten wirkt. Dieſe Hemmung wird um ſo merklicher, je ſchneller die Rotation iſt.

101 **Magnetiſche Erſcheinungen, welche leitende Körper hervorbringen, wenn ſie ſich unter dem Einfluß von Magneten bewegen.** Die Entdeckung dieſer Erſcheinungen, welche Faraday erklärte, indem er ſie als ein Inductionsphänomen betrachtete, rührt von Arago her. Er fand nämlich, daß, wenn man unter einer leicht beweglichen Magnetnadel eine horizontale kupferne Scheibe rotiren läßt, alsdann die Nadel der Bewegung der Scheibe folgt, d. h. daß ſie ſich in derſelben Richtung um ihre Aufhängungsaxe umdreht wie die Scheibe.

Man kann den Verſuch mit jeder Centrifugalmaſchine anſtellen. Auf die Rotationsaxe *a* der Centrifugalmaſchine wird eine Kupferſcheibe auf-

geſchraubt und dicht über dieſer in horizontaler Lage eine Glasplatte auf irgend eine Weiſe befeſtigt, in deren Mitte, die ſich gerade über *a* befindet, eine Spitze angebracht iſt, auf welcher die Magnetnadel ſpielt. Bei dem Fig. 249 dargeſtellten Apparat iſt die Umdrehungsaxe mit einer

Fig. 249.



Holzſcheibe *b* umgeben; in eine kreisförmige Rinne dieſer Scheibe paßt die kurze Meſſingröhre *c*, welche oben mit einer Glasplatte verſchloſſen iſt. Die Spitze, auf welcher die Nadel ſpielen ſoll, iſt in einem Meſſingſcheibchen befeſtigt, welches auf die Mitte der Glasſcheibe, alſo gerade über *a* geſtellt wird.

Die Erſcheinungen, welche man mit dieſem Apparate beobachtet, ſind folgende. Wenn Alles in Ruhe iſt, ſtellt ſich die Nadel in den magnetiſchen Meridian. Fängt man nun an zu drehen, ſo wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher ſich die Scheibe dreht. Die Kraft aber, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetiſchen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtrebt; je nach dem Verhältniſſe dieſer beiden Kräfte findet eine beſtimmte Gleichgewichtslage für die Nadel Statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächſt mit der Geſchwindigkeit; bei einer geringen Geſchwindigkeit wird alſo die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10^0 erleiden und in dieſer Lage ſtehen bleiben; bei einer größeren Geſchwindigkeit wird die Ablenkung 20^0 betragen u. ſ. w. Man kann es auf dieſe Weiſe dahin bringen, daß die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetiſchen Meridian von 0^0 bis 90^0 ſtehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine größere oder geringere conſtante Geſchwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geſchwindigkeit einmal groß genug iſt, um die Nadel um mehr als 90^0 abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht ſich nun mit der Scheibe.

Die Intenſität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab.

Nimmt man ſtatt des Kupfers Scheiben von einem andern Metall, ſo

iſt die Stärke der Wirkung nicht dieſelbe; nach den Verſuchen von Herſchel und Babbage iſt Folgendes die Wirkung der verſchiedenen Metalle, wenn man die des Kupfers zur Einheit nimmt.

Kupfer	1,00	Zink	0,13
Zinn	0,46	Antimon .	0,09
Blei	0,25	Wismuth .	0,02.

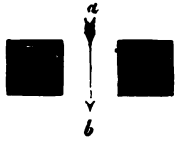
Silber ſcheint ſehr ſtark, Gold ſehr ſchwach zu wirken, Queckſilber ſteht in dieſer Beziehung zwiſchen Antimon und Wismuth.

Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeſchnitten iſt, ſo verliert ſie einen großen Theil ihrer Wirkſamkeit; wenn man aber die Einſchnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, ſelbſt mit Wismuth, wieder zulöthet, ſo wird die verlorene Wirkſamkeit faſt vollſtändig wieder hergeſtellt. Füllt man aber die Zwiſchenräume mit ſtark gepreßtem metalliſchen Pulver oder mit Flüſſigkeiten, wie Waſſer oder Schwefelſäure, ſo gelingt es nicht, den Verluſt der Wirkſamkeit auch nur wenig wieder zu erſetzen.

Dieſe Erſcheinungen laſſen ſich nun dadurch erklären, daß der Magnet in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt. Daß ſolche inducirte Ströme wirklich vorhanden ſind, hat Faraday auf folgende Weiſe durch den Verſuch nachgewieſen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar iſt, wurde ſo zwiſchen die beiden Pole eines Hufeiſenmagneten gebracht, daß ihr oberer Rand in die Ebene der beiden Pole oder unter dieſe Ebene fällt; wenn man nun einen metalliſchen Collector oben an den amalgamirten Rand hält, der an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes befeſtigt iſt, den andern Multiplicatordraht aber mit der metalliſchen Axe verbindet, ſo weicht die Nadel des Multiplicators aus, ſobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum oberen Rande geht, bei entgegengeſetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 250.

Fig. 251.



Es ſeyen Fig. 251 durch die beiden Quadrate die beiden Pole des Hufeiſens, durch die Pfeile die Richtung der Ströme darſtellt, welche nach der Ampère'ſchen Theorie die beiden Pole bilden; man ſieht, daß dieſe Ströme an beiden Polen an den einander zugekehrten Seiten, an den Seiten alſo, welche bei unſerm Verſuche der rotirenden Scheibe zugekehrt ſind, gleiche Richtung haben. Wird nun die Scheibe ſo gedreht, daß

ihr oberer Rand gleichfalls dieſelbe Richtung hat wie der Strom des Magneten an der der Scheibe zugekehrten Seite, daß er ſich alſo von *a* nach *b* bewegt, ſo zeigt der Multiplicator einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht; wenn aber die Richtung der Rotation der eben beſprochenen entgegengeſetzt iſt, ſo geht der inducirte Strom vom Rande der Scheibe zur Mitte.

Wenn nun die metallene Axe mit dem Rande nicht mehr durch den Multiplicatordraht verbunden iſt, ſo hört deshalb die Induction der Ströme in der Scheibe nicht auf; nur werden die Ströme, da ſie nicht mehr durch den Multiplicatordraht gehen können, in der Scheibe ſelbſt ihren Weg vollenden müſſen. Die Scheibe wird alſo im erſten Falle ſo von Strömen durchlaufen, wie Fig. 252 zeigt, im letzteren Falle in umgekehrter Richtung.

Fig. 252.

Die Richtung der inducirten Ströme, wie ſie hier der Verſuch angegeben hat, ſtimmt ganz mit dem oben angegebenen allgemeinen Inductionsgeſetze überein.

Wenn ſtatt der beiden Pole des Hufeiſenmagneten nur einer gewirkt hätte, ſo würde die Erſcheinung bis auf die Intenſität der Wirkung ganz dieſelbe geweſen ſeyn.

Wenden wir dies auf den Fall an, daß ein horizontaler Magnet über einer horizontalen rotirenden Kupferſcheibe ſich befindet. Nehmen wir an, die Ströme, welche den Magneten bilden, hätten eine ſolche Richtung, daß

Fig. 253.

ſie an der unteren der Platte zugekehrten Seite des Stabes von der Linken zur Rechten gehen, und daß die Scheibe in der Richtung der Pfeile gedreht werde; ſo wird der eben beſprochenen Erfahrung zufolge der Pol *a* Ströme induciren, welche von der Mitte der Scheibe zum Rande, der andere Pol aber ſolche, welche vom Rande nach der Mitte gehen, kurz, es wird ein Syſtem von Strömen inducirt, wie es Fig. 253 darſtellt. Die Rückwirkung dieſer Ströme auf die Nadel bringt aber die oben beſprochene Rotation derſelben hervor.

Auch durch den Erdmagnetismus werden in rotirenden Scheiben elektriſche Ströme inducirt.

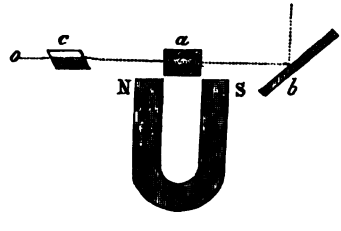
Wenn eine horizontale Magnetnadel über einer Kupferſcheibe rotirt, ſo äußert ſie ein Beſtreben, die Scheibe in gleicher Richtung zu drehen; wenn aber die Kupferſcheibe dieſem Antriebe nicht folgen kann, ſo wirken offenbar die inducirten Ströme hemmend auf die Bewegung der Nadel. Darauf beruht die Anwendung von kupfernen Scheiben, welche man in Multiplicatoren unter den Magnetnadeln anbringt; es wird dadurch bewirkt, daß die oscillirende Nadel leichter zur Ruhe kommt.

102 **Einwirkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes auf das polarisirte Licht.** Faraday, welchem wir schon so viele wichtige Entdeckungen im Felde der Elektricitätslehre verdanken, hat in der neuesten Zeit wieder Thatsachen nachgewiesen, welche durch ihre vollständige Neuheit allgemeine Verwunderung erregten, und welche den Naturforschern abermals ein bis dahin ganz unbekanntes Feld eröffneten; er hat gezeigt, daß das optische Verhalten vieler Körper durch den Einfluß von Magneten und elektrischen Strömen modificirt wird.

In weiterer Ausbildung werden wohl die hier zu besprechenden Erscheinungen in der Zukunft ein eigenes Kapitel in Anspruch nehmen müssen; vor der Hand aber hält es noch schwer, der neuen Erscheinungsreihe ihre geeignete Stellung anzuweisen. Einstweilen mögen die neuen Faraday'schen Entdeckungen hier einen Platz finden.

Ein Stück kiesel-borsaures Bleioxyd, welches Faraday kurz auch schweres Glas nennt, von ungefähr 2 Zoll Länge, wurde in der Art zwischen die beiden Pole *N* und *S* eines Elektromagneten gebracht, wie es Fig. 254 zeigt. Durch dieses Glasstück *a* ging nun ein Lichtstrahl in einer Richtung hindurch, welche mit der Verbindungslinie der beiden Pole *N* und *S* parallel ist. Dieser von einer Argand'schen Lampe kommende Strahl war durch den Glasspiegel *b* polarisirt und wurde durch das Nichol'sche Prisma *c* analysirt.

Fig. 254.



Das Prisma *c* wurde so gedreht, daß nach Wegnahme von *a* das Gesichtsfeld dunkel erschien, daß also die Polarisationsebene des Prismas *c* rechtwinklig zu der des Polarisationsspiegels *b* war. Durch Zwischenbringung von *a* wurde nichts geändert, das Gesichtsfeld blieb dunkel, so lange kein Strom durch die Drahtwindungen des Elektromagneten ging, sobald aber das weiche Eisen durch den elektrischen Strom magnetisch gemacht wurde, erschien das Gesichtsfeld hell; man mußte das Nichol'sche Prisma nach der rechten oder linken Seite drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen.

Durch die Einwirkung des Elektromagneten auf *a* war also die Polarisationsebene der von *b* kommenden Strahlen nach der rechten oder linken Seite gedreht worden.

Mit einem starken Stahlmagneten kann man nur eine sehr unbedeutende Drehung der Polarisationsebene erlangen; mit einem solchen ist also

die Erſcheinung nicht ſehr deutlich. Der Elektromagnet, den Faraday anwandte, war ſo ſtark, daß ein Pol für ſich allein 28 bis 56 Pfund tragen konnte.

Iſt durch die Einwirkung des Elektromagneten das vorher dunkle Geſichtsfeld hell gemacht worden, ſo wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Wenn der dem Beobachter in *o* zunächſt liegende Pol derjenige iſt, welcher dem Nordende der Magnetnadel entſpricht, ſo iſt die Polariſationsebene nach der rechten gedreht, nach der linken aber, wenn der Südpol der dem Beobachter zugekehrte iſt.

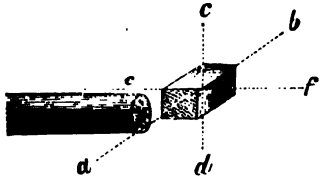
Wäre an die Stelle von *a* ein Eiſenſtab gebracht worden, ſo wäre er in einen Magneten verwandelt worden. Die Richtung, nach welcher ein in *a* befindliches Eiſen vom poſitiven Strom umkreiſ't werden müßte, um ihm dieſelbe Polarität mitzutheilen, die es unter dem Einfluß der Magnetpole *N* und *S* erhält, iſt dieſelbe, nach welcher die Polariſationsebene im ſchweren Glaſe durch den Einfluß derſelben Magnetpole gedreht wird.

Auch ein einziger Pol kann ſchon die erwähnten Wirkungen hervorbringen. Wird das kieſel-borſaure Bleioxyd neben den einen Pol eines kräftigen ſtabförmigen Elektromagneten gebracht, ſo iſt auch hier eine Drehung der Polariſationsebene eines polariſirten Strahls zu beobachten, welcher das ſchwere Glas durchläuft.

Die Drehung der Polariſationsebene wird am vollſtändigſten beobachtet, wenn der Strahl in derjenigen Richtung durch das ſchwere Glas geht, welche die Axe des Magneten ſeyn würde, welcher entſtände, wenn man für das ſchwere Glas ein Stück Eiſen ſubſtituirte.

In Fig. 255 ſtelle *N* den Pol oder Elektromagneten, der neben ihm ſtehende rechteckige Körper das ſchwere Glas dar. Wäre es Eiſen, ſo würde es zu einem Magneten werden, deſſen Axe mit den Linien *ab* zuſammenfällt (Faraday nennt dieſe Richtung eine Magnetkraftlinie), ein in dieſer Richtung das ſchwere Glas durchlaufender polariſirter Strahl erfährt nun durch den Einfluß des Elektromagneten eine Drehung ſeiner Polariſationsebene. Je mehr die Richtung des durchgehenden Strahls von der Richtung der Magnetkraftlinie abweicht, deſto geringer iſt die Drehung ſeiner Polariſationsebene, ſie iſt Null für alle Strahlen, welche das ſchwere Glas rechtwinklig zur Magnetkraftlinie durchlaufen. Ein Strahl *cd* oder *ef* würde alſo keine Drehung der Polariſationsebene erfahren.

Fig. 255.



Für den Körper *a*, Fig. 254, iſt *ab* die Magnetkraftlinie; an einem polariſirten Strahl, welcher *a* rechtwinklig zu *ob* durchläuft, iſt keine Drehung der Polariſationsebene zu beobachten.

Das borſaure Blei zeigt die erwähnten Erſcheinungen eben ſo gut wie das kieſel-borſaure; Flintglas zeigt ſie in geringerem Grade, Kronglas in noch ſchwächerem Maaße.

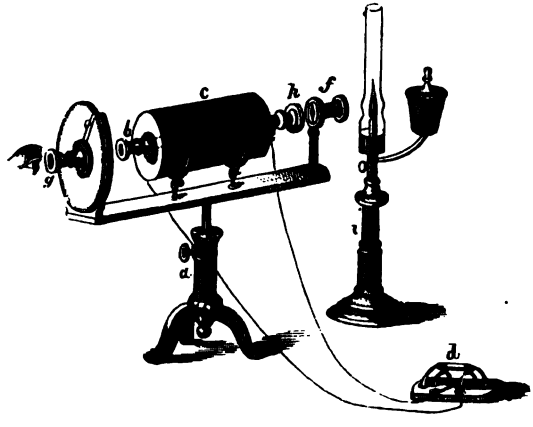
Steinſalz, Flußſpath, Alaun zeigten Spuren einer Drehung, beim Bergkryſtall, Kalkſpath, Schwerſpath, Gyps, kohlenſauren Natron wurde gar nichts der Art beobachtet.

Die Drehung der Polariſationsebene durch den Einfluß des Magnetismus wurde endlich auch an Flüſſigkeiten beobachtet, namentlich bei Waſſer, Alkohol, Aether, Oelen, wäſſerigen und weingeiſtigen Löſungen u. ſ. w.

Nach den erwähnten Erſcheinungen ließ ſich erwarten, daß ein elektriſcher Strom, in Form eines Schraubendrahtes um die durchſichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polariſationsebene bewirken müſſe. Faraday fand dies vollkommen beſtätigt.

Fig. 256 ſtellt einen Apparat dar, wie ihn Böttger auf die erſte Nachricht der Faraday'ſchen Entdeckung conſtruirte, um die Drehung

Fig. 256



der Polariſationsebene durch den elektriſchen Strom zu zeigen. *g* und *f* ſind zwei Nichol'ſche Prismen; *bh* iſt eine an beiden Enden mit Glasplatten verſchloſſene Meſſingröhre, die mit der zu unterſuchenden Flüſſigkeit gefüllt iſt; ſie ſteckt in einer eiſernen Röhre, die von der elektromagnetiſchen Spirale *c* umgeben iſt. Man ſieht durch die beiden Nichol'ſchen Prismen und die mit der Flüſſigkeit gefüllte Röhre nach den Flammen einer Argand'ſchen Lampe. Das Ocularprisma *g* wird ſo gedreht, daß das Ge-

sichtsfeld dunkel ist; läßt man nun einen kräftigen galvanischen Strom durch die Spirale gehen, so erscheint alsbald die Flamme wieder, und man muß g nach der rechten oder linken Seite drehen, um sie wieder verschwinden zu machen.

Der Gyrotrop d dient zur leichtern Richtungsänderung des Stromes.

Wie sich nach den mit dem Elektromagneten erhaltenen Resultaten erwarten ließ, wird die Polarisationsebene des Strahls nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Rolle, so ist der Effect des elektrischen Stromes zu dem ihrer eigenen Kraft zu addiren oder davon abzuziehen, je nachdem der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Die Drahtspiralen, welche Faraday zu seinen Versuchen anwandte, waren ziemlich lang; eine hatte eine Länge von 65 Zoll und war durch zwei Lagen von Windungen eines 0,03 Zoll dicken Drahtes gebildet, dessen Gesammtlänge 1240 Fuß betrug, sie hatte einen inneren Durchmesser von 0,4 Zoll. Eine zweite Spirale hatte eine Länge von 26,5 Zoll, einen inneren Durchmesser von 2,5 Zoll und war durch einen 500 Fuß langen, 0,17 Zoll dicken Kupferdraht gebildet.

Bezeichnet man die Größe der Drehung der Polarisationsebene, welche einen elektrischen Strom unter geeigneten Umständen in einer Wassersäule hervorbringt, mit 1, so ist die Größe dieser Drehung, welche derselbe Strom unter denselben Umständen in Säulen von denselben Dimensionen hervorbringt für

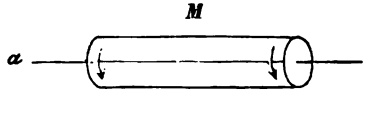
Flintglas . . .	2,8
Schweres Glas .	6,0

für Alkohol kleiner als für Wasser, für Aether kleiner als für Alkohol.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 257 stelle der Cylinder M ein Diamagneticum (so nennt Faraday alle Körper, auf welche der Magnetismus in anderer Weise wirkt als auf magnetische Körper) dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreist wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahls, welcher M in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von a nach b

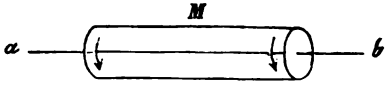
Fig. 257.



fort, ſo beobachtet alſo ein in *b* befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl ſich von *b* nach *a* fortpflanzte, ein in *a* befindliches Auge unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolariſirenden Körpern iſt das nicht ſo. Wäre *M* ein rechtsdrehender circularpolariſirender Körper, ſo würde man die Polariſationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von *b* nach *a* oder von *a* nach *b* ſchauen.

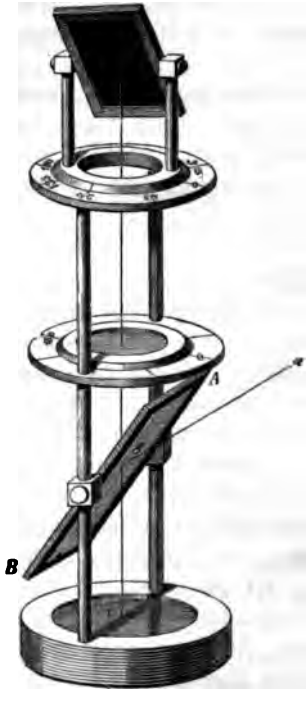
Dringt ein Lichtſtrahl in ein circularpolariſirendes Mittel in der Richtung von *b* nach *a* ein, ſo würde, vorausgeſetzt, daß das Mittel ein rechtsdrehendes

Fig. 258.



iſt, einem in *a* befindlichen Auge die Polariſationsebene des einfallenden Strahles nach der rechten Seite, alſo in der Richtung der Pfeile gedreht erſcheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt iſt, ſo daß der ſie treffende Strahl reflectirt wird, ſo wird der reflectirte Strahl eine ſolche Drehung der Polariſationsebene erleiden, daß ſie einem in *b* befindlichen Auge nach der rechten gedreht erſcheint, für den reflectirten Strahl findet alſo eine Drehung der Polariſationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengeſetzten Richtung Statt.

Fig. 259.



Abſolut genommen, iſt alſo die Richtung der Drehung der Polariſationsebene vor und nach der Spiegelung eine entgegengeſetzte, die Drehung, welche die Polariſationsebene des Strahls von ſeiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengeſetzte Drehung, die er nach ſeiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird alſo gar keine Drehung der Polariſationsebene an dem von *a* her kommenden Strahl beobachten können.

Legt man eine ſenkrecht zur Axe geſchnittene Quarzplatte auf den mittleren Tiſch des Nörrembergiſchen Polariſationsapparates, ſo beobachtet man die ſchon im erſten Bande beſchriebenen Erſcheinungen der Circularpolariſation, legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel *c* im Fuße des Polariſationsapparates Fig. 259, ſo tritt der eben beſprochene Fall ein, man beobachtet keine Drehung der Polariſationsebene mehr.

Da die Drehung der Polariſationsebene durch den Einfluß des elektriſchen Stromes nur von der Richtung dieſes Stromes abhängt, da ſie abſolut dieſelbe iſt, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der andern Seite fortgehen, ſo findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polariſationsebene Statt, wenn der Strahl an der Rückwand geſpiegelt wieder zurückläuft.

Wenn der Körper *M*, Fig. 258, durch elektriſche Ströme die Eigenſchaft erhalten hat, die Polariſationsebene zu drehen, ſo wird ein in *b* befindliches Auge die Polariſationsebene des an der andern Endfläche reflectirten Strahles doppelt ſo ſtark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies ſehr ſinnreich benutzt, um die Drehung der Polariſationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums ſehr merklich zu machen.

Ein Parallelopiped von ſchwerem Glaſe, 2,5 Zoll lang, deſſen Querſchnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und verſilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der andern Seite wurde ſie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, ſo daß ein bei *a* etwas ſchräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf dieſe Weiſe 5, 7, 9 u. ſ. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, ſo iſt die Drehung der Polariſationsebene 5, 7, 9 u. ſ. w. mal ſo groß, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 260.

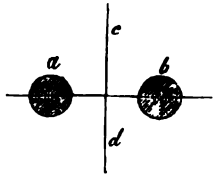
Abſtoßende Wirkung der Magnete auf nicht magnetiſche Körper. 103 Ohne Zweifel wirken die magnetiſchen Kräfte auf die innere Conſtitution der Diamagnetica eben ſo frei im Dunkeln, wie wenn ein Lichtſtrahl durch ſie geht; ferner muß eine ſolche Abänderung auch opaken Körpern zukommen. Faraday hat dies durch weitere Verſuchsreihen vollkommen beſtätigt, er hat gezeigt, daß die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, daß aber die Wirkung auf magnetiſche Körper eine andere iſt, als auf die diamagnetiſchen.

Bringt man einen Stab ſchweren Glaſes an Seidenfäden ſo aufgehängt, daß ſeine Längenaxe horizontal iſt und er ſich in horizontaler Ebene frei drehen kann zwiſchen die beiden Pole eines ſehr kräftigen Elektromagneten (ein Pol muß für ſich allein 50 Pfund tragen können), welcher ſo geſtellt iſt, daß ſeine beiden Pole nach Oben gerichtet ſind, ſo beobachtet man die merkwürdige Erſcheinung, daß ſich der Glasſtab rechtwinklig zu der Ver-

bindungslinie der beiden Pole ſtellt, und aus dieſer Lage herausgebracht nach einigen Schwingungen ſtets wieder in dieſelbe zurückkehrt.

In Fig. 261 ſeyen *a* und *b* die beiden nach Oben gerichteten Pole eines vertikal geſtellten kräftigen Elektromagneten, ſo iſt *cd* die Lage, welche der Glasſtab einnimmt. Hätte man ſtatt des Glasſtabes einen Eiſenſtab zwiſchen den Polen aufgehängt, ſo hätte er ſich in die Richtung geſtellt, welche die Magnetpole verbindet.

Fig. 261.



Faraday nennt die Richtung *ab* die axiale, *cd* die äquatoriale Lage. Ein Eiſenſtab ſtellt ſich alſo zwiſchen den beiden Magnetnadeln axial, der Glasſtab ſtellt ſich äquatorial.

Eine Menge anderer Körper geben daſſelbe Reſultat; beſonders ſtark zeigt ſich die Kraft, welche den Stab in die äquatoriale Lage führt, beim Phosphor und Wismuth. Auch auf Flüſſigkeiten übt der Magnet dieſe Wirkung aus.

Flintglas ſtellt ſich ebenfalls äquatorial, wenn aber eine Röhre daraus ſehr dünnwandig iſt, giebt ſie für ſich allein nur eine ſehr ſchwache Wirkung. Wird ſie nun mit Flüſſigkeit gefüllt, ſo iſt die Wirkung ſo ſtark, daß man nicht zu fürchten braucht, den Effect des Glaſes mit dem der Flüſſigkeit zu verwechſeln.

Damit ein Körper die äquatoriale Stellung einnehme, iſt es nöthig, daß er nach einer Richtung mehr ausgedehnt ſey, als nach allen andern, daß er alſo eine längliche, ſtabförmige Geſtalt hat. Hängt man eine Kugel oder einen Würfel von Phosphor oder Wismuth in der Mitte zwiſchen beiden Magnetpolen auf, ſo richtet ſich dieſer nicht; einem der Pole genähert beobachtet man aber eine Abſtoßung, welche auffallend einer ſchwachen elektriſchen Abſtoßung ähnelt.

Auf die diamagnetiſchen Körper wirken alſo kräftige Magnetpole abſtoßend; durch dieſe Abſtoßung erklärt ſich nun auch leicht, warum Stäbe diamagnetiſcher Körper ſich zwiſchen den beiden Magnetnadeln äquatorial ſtellen.

In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen alſo alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetiſchen und die diamagnetiſchen. Die magnetiſchen ſtellen ſich axial, die diamagnetiſchen ſtellen ſich äquatorial.

Durch Anwendung ſehr kräftiger Elektromagnete ergiebt ſich, daß die Klaſſe der magnetiſchen Körper zahlreicher iſt, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweiſen konnte, es ſtellen ſich nämlich ſehr ſchwach magnetiſche Körper, die ſonſt keine Spur von Magnetismus zeigen, zwiſchen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand

durch dieſes Mittel, daß außer den drei bekannten magnetiſchen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetiſch ſind.

Faſt alle Eiſenverbindungen erweiſen ſich zwiſchen den Polen des Elektromagneten als magnetiſch, ſo z. B. grünes Bouteillenglas. Auch die Eiſenſalze ſind magnetiſch und ſtellen ſich axial, mag man ſie nun als Kryſtalle oder in aufgelöſ'tem Zuſtande in dünnwandigen Glasröhren anwenden.

Dieſe Entdeckungen Faraday's, von denen hier natürlich nur die Fundamentalerſcheinungen beſchrieben werden konnten, werden ſicherlich noch weitere Bereicherungen der Phyſik zur Folge haben. Vor der Hand iſt die Sache noch zu neu, noch zu wenig allſeitig unterſucht, als daß es gerathen ſeyn dürfte, ſchon jetzt theoretiſche Betrachtungen an dieſelbe anzuknüpfen.

Fünfte Abtheilung.

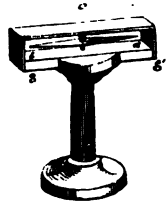
Thermoelektriſche Ströme und thieriſche Elektricität.

Weil ein elektriſcher Strom nichts anderes iſt als die Wiedervereinigung 104
der entgegengeſetzten elektriſchen Flüſſigkeiten, ſo iſt klar, daß alle Urſachen welche überhaupt Elektricität erzeugen, auch im Stande ſind, elektriſche Ströme hervorzubringen; denn immer werden ja die beiden Elektricitäten zu gleicher Zeit und in gleichem Maaße entwickelt, und da nun ferner jede der beiden Flüſſigkeiten ein Beſtreben hat, ſich mit ihrem Gegenſatze zu verbinden, ſo reicht es hin, dieſe Wiedervereinigung möglich zu machen, um einen elektriſchen Strom hervorzubringen. Man ſollte denken, daß das Umgekehrte auch immer ſtattfände, d. h. daß man nur irgend einen Strom zu unterbrechen brauche, um die beiden entgegengeſetzten Elektricitäten im Zuſtande der Ruhe und Spannung zu erhalten. Allerdings iſt dies auch ſtets der Fall, meiſtens aber iſt die Spannung ſo gering, daß es ſchwer hält, die Exiſtenz dieſer freien Elektricität durch den Verſuch nachzuweiſen.

Außer den bisher betrachteten giebt es demnach noch mancherlei Quellen elektriſcher Ströme; ſo können z. B. Druck, Reibung, Spaltung u. ſ. w. elektriſche Ströme veranlaſſen. Auch durch Wärme werden elektriſche Ströme erzeugt, welche von Seebek in Berlin entdeckt und von ihm thermoelektriſche Ströme genannt wurden.

Wenn zwei Metallſtäbe ſo zuſammengelöthet ſind, daß ſie eine geſchloſſene Kette von beliebiger Form bilden, ſo entſteht ein mehr oder minder ſtarker Strom, ſo oft die beiden Löthſtellen verſchiedene Temperatur haben, und der Strom dauert ſo lange fort, als der Temperaturunterſchied unterhalten wird.

Fig. 262.

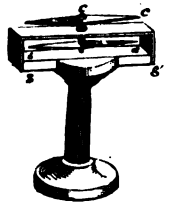


Es läßt ſich dies für einen ſpeciellen Fall mit dem Apparate Fig. 262 nachweiſen. ss' iſt ein Stäbchen von Wismuth, scs' ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthſtäbchens angelöthet iſt; ab iſt eine auf einer Spitze frei ſpielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthſtellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat ſo geſtellt, daß die Ebene des Vierecks scs' in die Ebene des magnetiſchen Meridians fällt, daß alſo die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthſtäbchens parellel ſteht; ſobald nun eine der Löthſtellen, etwa s, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieſelbe Löthſtelle s unter die Temperatur der umgebenden Luft, ſo beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengeſetzter Richtung.

Dieſe Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite zeigen offenbar einen elektriſchen Strom an, welcher den Apparat in einer beſtimmten Richtung durchkreiſ't, wenn die Löthſtelle s wärmer iſt als s'; in der entgegengeſetzten aber, wenn die Löthſtelle s kälter iſt als die Löthſtelle s'.

Nicht alle Metalle geben ſo in die Augen fallende Reſultate wie Wismuth und Kupfer; alsdann aber muß man ſtatt einer einzigen Nadel ein Syſtem von zwei compenſirten Nadeln anwenden, wie man es Fig. 263 ſieht. Der obere Streifen scs' hat in der Mitte eine Oeffnung, damit das Verbindungsſtück der beiden Nadeln hindurchgehe; die Spitze aber, auf welcher das Syſtem der beiden Nadeln ſpielt, erhebt ſich bis zur oberen Nadel.

Fig. 263.



Es iſt nicht gerade nöthig, daß man einen beſondern Apparat der Art hat, wie der Fig. 262 abgebildete, um den thermoelektriſchen Fundamentalverſuch zu machen, man kann dazu jede gehörig leicht

Fig. 264.

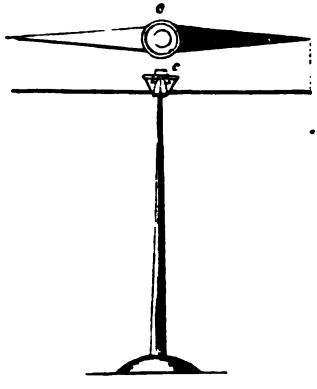
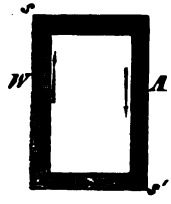


Fig. 265.



bewegliche Compaßnadel, etwa die Fig. 264 abgebildete anwenden. Als thermoelektriſches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 265, an, welches aus Wismuth und Antimon zuſammengeſetzt iſt; in der Figur bezeichnet die hellſchatirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Dieſe beiden Metalle ſind bei s und s' zuſammengelöthet. Um den Verſuch zu machen, erwärmt man vorſichtig die eine Löthſtelle über einer kleinen Weingeiſtlampe und hält dann die eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die ſich noch in ihrer Ruhelage befindliche Magnetnadel. Es iſt hier noch zu bemerken, daß Fig. 265 in einem kleineren Maaßſtabe gezeichnet iſt als Fig. 264; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch ſo groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigſtens die Länge der Magnetnadel hat.

Häufig haben die einfachen thermoelektriſchen Ketten auch die Fig. 266 dargeſtellte Einrichtung. $a\,b$ iſt ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an deſſen beiden Enden ein Kupferdraht $a\,e\,d\,b$ angelöthet iſt. Um den Verſuch zu machen, wird die eine Löthſtelle bei a oder bei b erwärmt und das Drahtſtück $e\,d$ über die Nadel gehalten.

Fig. 266.

In vielen Fällen muß man, um die thermoelektriſchen Ströme nachzuweiſen, den Multiplicator zu Hülfe nehmen; die thermoelektriſchen Multipicatoren haben aber weniger Windungen und ſind aus dickerem Drahte conſtruirt als die gewöhnlichen. Wenn man mit den beiden Enden des Kupferdrahtes eines ſolchen Multiplicators ein Stück Wismuth oder Antimon berührt, ſo erhält man ſchon eine bedeutende Ablenkung der Nadel, wenn auch nur eine ganz geringe Temperaturdifferenz zwiſchen den beiden Berührungsſtellen ſtattfindet.

Um mit Hülfe des Thermomultiplicators die thermoelektriſchen Ströme

zu unterſuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eiſen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuſchneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befeſtigen, ſo daß ein vollkommen metalliſcher Contact zwiſchen Platin und Kupfer beſteht. Iſt dieſe Einrichtung getroffen, ſo iſt es grade ſo gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgeſetzt, daß die beiden Berührungsſtellen zwiſchen den Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwiſchen den beiden Platinenden ein Stück Eiſendraht anzubringen und die eine Berührungsſtelle zwiſchen Platin und Eiſen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, ſo erhält man den thermoelektriſchen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz zwiſchen den beiden Stellen herrührt, in welchen ſich Platin und Eiſen berühren.

Wenn man verſchiedene Metalle dieſem Verſuche unterwirft, ſo findet man große Verſchiedenheiten; denn während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältniſſen nur einen außerordentlich ſchwachen Strom.

Die Unterſuchungen, die man über das gegenſeitige Verhalten verſchiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermoelektriſcher Ströme gemacht hat, haben gezeigt, daß ſich die Metalle in eine Reihe zuſammenſtellen laſſen, welche die Eigenſchaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieſer Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsſtelle erwärmt, an dieſer erwärmten Löthſtelle der poſitive Strom von dem in der Reihe tiefer ſtehenden Metall zu den höher ſtehenden übergeht.

Antimon	Zinn
Arſenik	Silber
Eiſen	Mangan
Zink	Kobalt
Gold	Palladium
Kupfer	Platin
Meſſing	Nickel
Rhodium	Queckſilber
Blei	Wismuth.

In dem Apparate Fig. 262 geht alſo, wenn die Löthſtelle bei *s* erwärmt iſt, der Strom in der Richtung von *s* über *c* nach *s'* und dann nach *s* zurück; an der erwärmten Berührungsſtelle *s* iſt alſo das in der Reihe höher ſtehende Kupfer poſitiv gegen das tiefer ſtehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 265 circulirt der poſitive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthſtelle bei *s* wärmer iſt.

Becquerel hat beobachtet, daß bei sehr hohen Temperaturen Platin und Eisen ihre Rolle umkehren, diese Umkehrung scheint aber nicht constant zu sein; denn bei einer großen Anzahl von anderen Versuchen wurde nichts der Art beobachtet.

Wenn man eine geschlossene aus einem einzigen homogenen Metalle construirte Kette an irgend einer Stelle erwärmt oder erkaltet, so können gleichfalls unter gewissen Umständen starke Ströme entstehen.

Wismuth und Antimon scheinen unter allen Metallen am meisten geignet, diese merkwürdige Erscheinung zu zeigen. Nimmt man z. B. irgend ein Stück Antimon von beliebiger Form und bringt über demselben eine leicht bewegliche kleine Magnetnadel an, so findet man immer auf der Oberfläche des Stücks mehrere Punkte, welche, wenn sie erwärmt werden, eine merkliche Ablenkung der Nadel nach der einen oder der andern Seite bewirken. Diese Beobachtung rührt von Seebeck her.

Mehrere Physiker haben diese merkwürdige Erscheinung näher untersucht. Yeling, Cumming und Sturgeon haben sich besonders bemüht, den Stücken Wismuth und Antimon eine regelmäßige Gestalt zu geben, aus diesen Metallen rechtwinklige, elliptische, kreisförmige u. s. w. Ketten zu bilden, um die wirksamsten Punkte zu ermitteln und die Richtung des Stromes zu bestimmen, welchen eine Erwärmung oder Erkaltung dieser Punkte zur Folge hat. Bis jetzt ist es jedoch nicht gelungen, irgend eine allgemeine Thatsache, sowohl in Beziehung auf die Richtung, als auf die Stärke dieser eigenthümlichen Ströme, aufzufinden; denn ganz ähnliche Ketten von verschiedener Größe geben fast immer entgegengesetzte Resultate.

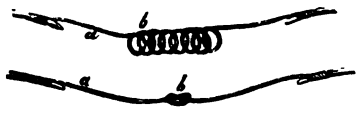
Einige Physiker schreiben diese Wirkungen krystallinischen Gruppen zu, welche sich beim Erkalten des Metalls bilden und welche eine nach allen Seiten gleichförmige Verbreitung der Wärme verhindern. Diese Meinung hat allerdings eine große Wahrscheinlichkeit für sich; um sie übrigens genügend zu begründen, wären doch noch directe Beobachtungen nöthig.

Becquerel hat dieser sonderbaren Thatsache eine größere Ausdehnung gegeben; er zeigte nämlich, daß dieselbe Erscheinung auch an einem Platindrahte stattfindet, und indem er die wesentlichsten Umstände ausfindig machte, welche die Resultate modificiren, hat er in dieser Beziehung folgendes Princip aufgestellt: wenn ein Platindraht eine geschlossene Kette bildet, und wenn sich an irgend einer Stelle desselben ein Hinderniß befindet, welches im Stande ist, die Fortpflanzung der Wärme zu verzögern, so entsteht, wenn man den Draht in der Nähe dieser Stelle erwärmt, ein Strom, welcher von der Stelle der Erwärmung nach jenem Hindernisse hin gerichtet ist.

Wenn man also die beiden Enden eines Platindrahtes mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung setzt und dafür sorgt, daß diese

beiden Berührungsſtellen zwiſchen Kupfer und Platin ſtets auf derſelben Temperatur erhalten werden, um zu verhindern, daß gewöhnliche thermoelektriſche Ströme ſich bilden, ſo erhält man einen von *a* nach *b* gerichteten Strom, Fig. 267, wenn man bei *a* erwärmt und der Draht bei *b* ſchraubenförmig gewunden iſt oder nur einen einfachen Knoten hat.

Fig. 267.



Man erhält dieſelben Wirkungen mit Kupferdraht, wenn er ein wenig oxydirt iſt. Nobili hat indeſſen mit Metallen, die noch leichter oxydirbar ſind, wie Zink, Eiſen und Antimon, Ströme in entgegengeſetzter Richtung erhalten.

105 **Kälteerzeugung durch den elektriſchen Strom.** Peltier löthete einen Stab von Wismuth und einen von Antimon, welche ungefähr 4½ Zoll lang waren und einen quadratiſchen Querſchnitt von 4 Linien hatten, ſo aufeinander, daß ſie ein Kreuz bildeten; an der Kreuzungsſtelle waren ſie in einander eingelaſſen, jeder einzelne Stab hatte alſo die Geſtalt Fig. 268. Die Fig. 269 ſtellt das ganze Kreuz, und zwar der ſchwarze Arm den Antimonſtab, der weiße Arm den Wismuthſtab dar. Wird nun zwiſchen die Stabenden *W* und *A* ein Multiplicator eingeſchaltet, wie dies in der Figur angedeutet iſt, ſo wird dieſer Multiplicator nach der einen Seite ausſchlagen, wenn man die Löthſtelle erwärmt, nach der andern, wenn man ſie erkaltet.

Fig. 268.

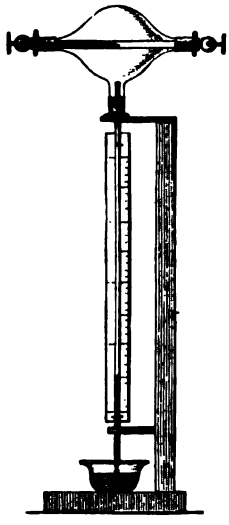
Fig. 269.

Nun aber verband Peltier *A'* mit dem einen, *W'* mit dem andern Pole eines Volta'ſchen Elements, ſo daß ein Strom die Arme *A'm* und *m W'* durchlief. Auch nun wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, und zwar zeigte die Ablenkung eine Erwärmung bei *m* an, wenn der poſitive Strom von *A'* über *m* nach *W'* ging, eine Erkaltung, wenn er in entgegengeſetzter Richtung circulirte.

Dieſe Erkaltung durch den elektriſchen Strom läßt ſich auch mit Hülfe des Apparates Fig. 270 direct nachweiſen. *A* iſt die Kugel eines Luftthermometers, deſſen Röhre in ein Gefäß mit farbiger Flüſſigkeit eintaucht, die auch noch einen Theil der Röhre füllt. Durch die Kugel des Luftthermometers geht luftdicht ein Stäbchen hindurch, deſſen eine Hälfte Wismuth, deſſen andere Antimon iſt. Läßt man einen galvaniſchen Strom durch das Stäbchen hindurchgehen, ſo zeigt das Sinken der Flüſ-

ſigkeit eine Erwärmung der Löthſtelle an, wenn der poſitive Strom vom Antimon zum Wismuth geht; läßt man aber den Strom in entgegengeſetzter Richtung circuliren, ſo ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre des Thermometers, was eine Erkaltung der Löthſtelle anzeigt.

Fig. 270.



Lenz machte an der Löthſtelle eines Wismuth- und Antimonſtabes ein Loch, füllte es mit Waſſer, und legte den Stab auf ſchmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile deſſelben mit Ausnahme der Löthſtelle bedeckte. Die Stange erhält dadurch natürlich eine Temperatur von 0°, welche auch ein in das Waſſer der Löthſtelle eingetauchtes Thermometer angab. Als aber der Stab ſo zwiſchen die Pole eines Volta'ſchen Elementes eingeſchaltet wurde, daß der poſitive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, war das Waſſer im Loche der Löthſtelle nach 5 Minuten vollſtändig gefroren, und das Thermometer ſank auf — 3,5°.

Thermoelektriſche Säulen. So wie man mehrere Volta'ſche 106
Elemente, ſo kann man auch mehrere thermoelektriſche Elemente zu einer thermoelektriſchen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsſtelle 1, 3, 5 u. ſ. w. erwärmt, während die dazwiſchenliegenden kalt bleiben.

Solche thermoelektriſche Säulen werden angewendet, um an einem eingeſchalteten Multiplicator ſchon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthſtellen eine Ablenkung der Nadel hervorzubringen. Unter allen zu dieſem Zwecke conſtruirten Säulen iſt unſtreitig die von Nobili angegebene die ſinnreichſte und empfindlichſte; ſie iſt Fig. 271 dargeſtellt. Sie iſt aus

Fig. 271.

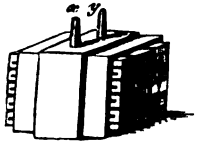
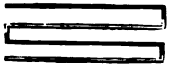


Fig. 272.



25 bis 30 ſehr feinen Stäbchen von Wismuth und Antimon zuſammengeſetzt, welche ungefähr 4 bis 5 Centimeter lang ſind. Sie ſind zuſammengelöthet, wie man Fig. 272 ſieht, nämlich ſo, daß alle paarigen Löthſtellen auf der einen, alle unpaarigen auf der andern Seite ſich befinden. Das Ganze bildet einen kleinen compacten und feſten Bündel, weil die Zwiſchenräume zwiſchen den einzelnen Stäbchen mit einer iſolirenden Subſtanz, etwa mit Gyps ausgefüllt ſind, denn ſie dürfen ſich natürlich nur an den Löthſtellen be-

rühren. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stifte x, der andere mit dem Stift y in Verbindung, und diese Stifte bilden auf diese Weise die beiden Pole der Säule, und mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Mit einer thermoelektrischen Säule, welche nach demselben Princip construirt ist, wie die Fig. 271, deren Elemente aber größer sind, kann man sehr kräftige thermoelektrische Ströme hervorbringen, wenn die beiden Enden sehr ungleichen Temperaturen ausgesetzt werden. Zu diesem Zwecke wird die Säule vertical gestellt, die obere Fläche mit einem Rande umgeben und mit Eisstücken oder einer Kältemischung bedeckt, während die untere Fläche der Strahlung einer glühenden Eisenplatte ausgesetzt ist. Schließt man diese Säule mit einer langen Spirale von Kupferdraht, so erhält man beim Oeffnen einen Funken. Auch alle übrigen Wirkungen des galvanischen Stromes kann man mit einer solchen Thermosäule hervorbringen.

107 **Thierische Elektricität.** Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, lähmende Schläge zu ertheilen; manchmal sind die Schläge so stark, daß sie in dem ganzen Arm eine schmerzhafte Lähmung hervorbringen, welche mehrere Minuten dauert; die Empfindung, welche diese Schläge hervorbringen, kann am besten mit derjenigen verglichen werden, welche ein Stoß an den Ellenbogen oft veranlaßt. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, daß der Zitteraal lähmende Molekule aussende, daß er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher tönender Körper (Réaumur Academie des Sciences 1714). Als aber Muſſchenbroeck zum Erstenmale den Schlag einer Leydner Flasche verspürt hatte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurde auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hatte, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1) aus der Familie der Rochen, die Zitterrochen, Torpedo narke, sive marmorata, Torpedo galvanii und Narcine brasiliensis. 2) Aus der Familie der Aale, der Zitteraal, Gymnotus electricus, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die beiden Arten von Torpedo finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlandischen Ocean, selten in der Nordsee; die Zitteraale in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen africanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch Rhinobatus electricus, Tretodon

electricus und Trichiurus electricus elektriſche Eigenſchaften haben, doch ſind wohl dieſe Angaben noch als ſehr problematiſch anzuſehen.

Welches aber iſt die Quelle der großen Menge von Elektricität, welche dieſe Fiſche geben können? Es iſt dies eine Frage vom höchſten Intereſſe, auf welche wir aber nicht im Stande ſind, eine auch nur einigermaßen genügende Antwort zu geben. Ohne uns alſo auf dieſe Frage weiter einzulaſſen, müſſen wir uns damit begnügen, die wichtigſten Erſcheinungen zu betrachten, welche man an dieſen Fiſchen beobachtet hat.

Eigenſchaften des Zitterrochens. Die erſten einigermaßen genauen 108
Unterſuchungen über die elektriſchen Wirkungen des Zitterrochens ſind von Walſh angeſtellt worden. Er ſtellte ſeine Verſuche im Jahre 1772 zu La Rochelle und der Inſel Re an (Journal de Physique T. IV, p 205) und erhielt folgende Reſultate:

Wenn ſich der Zitterrochen in der Luft befindet, ſo erhält man einen Schlag, wenn man direct irgend einen Theil ſeiner Haut entweder nur mit einem Finger oder auch mit der ganzen Hand berührt.

Eben ſo erhält man einen Schlag, wenn man das Thier mit einem guten Leiter, etwa einem Metallſtab, berührt, welcher mehrere Fuß lang iſt.

Der Schlag wird durch jeden ſchlechten Leiter aufgehalten, man kann alſo ungeſtraft das Thier mit einem Glasſtab oder einer Harzſtange anfaſſen.

Man kann den Fiſch ohne Gefahr ſelbſt mit einem Streifchen Zinn berühren, welches auf eine Glasröhre geklebt iſt und in welchem nur eine ganz kleine Unterbrechung gemacht iſt, wie man ſie etwa mit der Spitze eines Federmeſſers ritzen kann.

Wenn ſich mehrere Perſonen die Hände geben und die erſte den Fiſch anrührt, ſo fühlt auch noch die zweite, ſelbſt die dritte den Schlag, doch nimmt er an Intenſität ab.

Der Schlag iſt noch in einer Kette von 20 Perſonen fühlbar, welche ſich die Hände geben, wenn die erſte den Fiſch am Leib, die letzte am Rücken anfaßt.

Im Waſſer ſind die Schläge immer weniger intenſiv als in der Luft, man erhält ſie aber auf dieſelbe Weiſe und unter denſelben Bedingungen. Da das Waſſer ein ziemlich guter Leiter iſt, ſo begreift man, daß ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und daß es nicht mehr nöthig iſt, ihn direct zu berühren. Walſh hat in der That beobachtet, daß der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fiſche erſchlägt, oder wenigſtens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, ſo iſt es ſtets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren, wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Floß-

federn kneift, so kann man fast immer sicher seyn, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte.

Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht (Becquerel T. 4, p. 364). Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, daß der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, daß der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

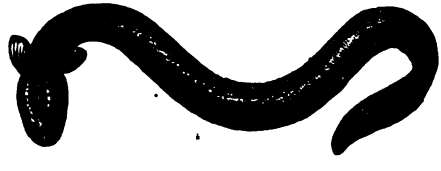
Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauch des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, daß der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewußt und an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten. Faraday fand alle diese Wirkungen bestätigt und hat überdies noch durch diese Elektricität Drähte erhitzt.

109 **Eigenschaften des Zitteraals.** Der Zitteraal, Fig. 273, welcher

Fig. 273.



auch der surinamische Aal genannt wird, hat eine noch weit größere elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh ließ sich Gymnoten von

Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber außerdem noch die wichtige Beobachtung, daß sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem andern durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und daß man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht (Journal de Physique T. VIII. p. 305).

Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er in seinem Werke über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

»— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuß Länge. Sie sind mächtig genug, die größten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüßchen angehäuft hatten, daß jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Fuhrt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schoße der Gewässer aus.

Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriffe reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich verschlagen, unter den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

Allmälig läßt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

Dies iſt der wunderbare Kampf der Pferde und Fiſche. Was unſichtbar die lebendige Waffe dieſer Waſſerbewohner iſt, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eiſen an Eiſen bindet und den ſtillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtſtrahls, fließt aus Einer Quelle; Alles ſchmilzt in eine ewige, allverbreitende Kraft zuſammen.«

110 **Vom elektriſchen Organ.** Das Organ, in welchem ſich die Elektricität entwickelt, hat bei den verſchiedenen elektriſchen Fiſchen im Weſentlichen dieſelbe Textur, daſſelbe Anſehn, obgleich ſeine Geſtalt, ſeine Größe und ſeine Anordnung verſchieden iſt. Wir wollen nun verſuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genaueſten unterſucht worden iſt.

Fig. 274.

Die Fig. 274 ſtellt einen Zitterrochen von oben geſehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet iſt, ſo daß man das elektriſche Organ ſieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, ſeine obere Fläche ſtößt mittelſt einer faſerigen Haut an die Haut des Rückens, ſeine untere an die des Bauches; ſeine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenfloſſe, ſeine innere an der Muskulatur des Kopfes und des vordern Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten geſehen, zeigt das elektriſche Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 275; von der Seite aber ſieht man parallele Streifen, wie Fig. 276 zeigt. Das ganze Organ beſteht alſo aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere ſehnigte Membrane, welche, wie es ſcheint, dieſelben Dienſte leiſtet wie die Glasſtäbe, zwiſchen welchen die galvaniſche Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen beſteht aus einer Menge auf einander geſchichteter feiner Blättchen;

Fig. 275.

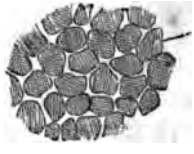


Fig. 276.

dieſe kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen ſind durch ſehr klebrige Schleimſchichten von einander getrennt, und ſomit bieten dieſe Säulchen in ihrer Conſtruction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvaniſchen Säule dar.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 ſolcher Säulchen auf jeder Seite deſſelben; Hunter zählte deren ſogar bei einem ſehr großen Exemplare von $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge 1184. Vier ſtarke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*. Fig. 274, vertheilen ſich in das elektriſche Organ, und nach Matteucci ſcheint das centrale Nervenſyſtem, aus welchem ſie entſpringen, der eigentliche Sitz der elektriſchen Kraft zu ſeyn.

Bei dem Zitteraal liegt das elektriſche Organ in dem ſehr langen Schwanze. Bei dieſem Thiere nämlich liegt der After ſo weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus faſt $4\frac{1}{2}$ mal ſo lang iſt als Kopf und Rumpf zuſammengenommen, das elektriſche Organ liegt faſt der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb deſſelben, ſo daß der elektriſche Apparat dieſes Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal ſo außerordentlich ſtarke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus ſtehen die Säulchen, welche das elektriſche Organ bilden, nicht ſenkrecht wie beim Zitterrochen, ſondern ſie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, ſo daß die Scheibchen, aus denen ſie beſtehen, ſenkrecht ſtehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraal der poſitive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, alſo nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Im thieriſchen Organismus ſind auch elektriſche Ströme nachgewieſen worden, welche nicht durch beſondere elektriſche Organe hervorgebracht werden. Nobili hat gefunden, daß, wenn man mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators den Kopf, mit dem andern Drahtende die Füße eines lebenden oder friſch getödteten Froſches berührt, ein Strom vom Kopfe nach den Füßen geht; ebenſo läßt ſich ein Strom nachweiſen, wenn man in den Muskel irgend eines Thieres einſchneidet und den äußeren Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicatordraht verbindet.

Siebenter Abſchnitt.

Von der Wärme.

Erſtes Kapitel.

Ausdehnung.

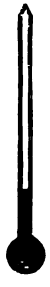
111 Die Luft, das Waſſer, alle Körper der Natur können in unſerm Gefühlsvermögen verſchiedene Empfindungen anregen, die man mit den Namen der Wärme und der Kälte bezeichnet. Dieſe Empfindungen bringen ſie ſowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch in großen Entfernungen hervor, und ſie ſind von der Art, daß wir die Urſache derſelben nicht ohne Weiteres der Subſtanz der Körper ſelbſt zuſchreiben können. Von den Sonnenſtrahlen beſchienen, ſehen wir wohl ein, daß es nicht die ponderabele Materie der Sonne iſt, welche auf die Erde herabſteigt, um in unſeren Augen die Empfindung des Lichtes, in unſerm ganzen Körper das Gefühl der Wärme hervorzubringen. Es giebt alſo irgend ein Agens, welches von der Subſtanz der Körper verſchieden in ihrer Maſſe verbreitet iſt und alle dieſe Erſcheinungen veranlaßt. Dieſem Agens hat man den Namen calorique gegeben, was ſich in's Deutſche nicht ganz paſſend übertragen läßt; denn der Ausdruck Wärmeſtoff würde ſchon eine Hypotheſe über das Weſen des unbekannten Agens einſchließen. Gewöhnlich bezeichnet man im Deutſchen dieſes Agens ſelbſt mit dem Namen Wärme, indem man für die Urſache denſelben Namen braucht wie für die Wirkung. Ein Irrthum kann dadurch nicht leicht entſtehen, indem es ſtets aus dem Zuſammenhange klar wird, in welchem Sinne man das Wort »Wärme« zu nehmen hat.

112 **Veränderungen des Volumens.** Wir haben ſchon oben geſehen, daß alle Körper durch die Wärme ausgedehnt werden, und daß das Volumen eines Körpers von dem Grade ſeiner Erwärmung abhängt; die Ausdehnung eines Körpers kann uns alſo dienen, um den

Grad ſeiner Erwärmung zu meſſen. Man nennt die Temperatur eines Körpers den Grad ſeiner Erwärmung, die Inſtrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu beſtimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 277 ſtellt ein Queckſilberthermometer dar; die Kugel iſt mit Queckſilber angefüllt; dieſe Flüſſigkeit erhebt ſich aber auch noch in der Röhre bis zu einer beſtimmten Höhe, welche von der Temperatur abhängt. Wenn man die Kugel erwärmt, vermehrt ſich das Volumen des Queckſilbers, es ſteigt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſey erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert ſich das Volumen des Queckſilbers wieder, das Queckſilber ſinkt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſey gefallen.

Fig 277.



Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Queckſilberſäule auch ſtets dieſelbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem erſtern vergleicht, ſo werden beide mit einander ſteigen und fallen, aber die abſolute Größe des Steigens und Fallens kann doch ſehr verſchieden ſeyn. Wenn z. B. die beiden Kugeln gleich ſind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querſchnitt als die andere hat, ſo würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Queckſilber in der engen Röhre zehnmal ſo hoch ſteigen als in der andern.

Ein ſolches Thermometer kann nur dazu dienen, zu ſehen, ob eine beſtimmte Temperatur ſtattfindet, oder ob ſie höher oder tiefer ſey, je nachdem der Gipfel der Queckſilberſäule in der Röhre an einer beſtimmten Stelle oder höher oder tiefer ſteht. Ein ſolches Inſtrument würde ſchon von einigem Nutzen für die Wiſſenſchaft ſeyn, durch die Graduirung aber werden die Thermometer doch eigentlich erſt brauchbare Inſtrumente, denn durch die Graduirung iſt es möglich, die Temperaturen in Zahlen auszudrücken, ſie zu vergleichen und die Geſetze der Wärme auszumitteln.

Die Graduirung der Thermometer beruht auf der Thatſache, daß es Phänomene giebt, welche immer bei derſelben Temperatur ſtattfinden. Nimmt man z. B. eins der obigen Thermometer in die Hand, ſo wird es mehr oder weniger ſteigen, je nachdem das Aeußere der Hand wärmer oder kälter iſt; wenn man aber die Hand ſo lange zuhält, bis ſie möglichſt erwärmt iſt, ſo wird das Thermometer allmälig bis zu einem beſtimmten Punkte, der Blutwärme, ſteigen, den es immer erreicht, über welchen es aber nie hinausgeht. Zu allen Jahreszeiten, in allen Klimaten, bei allen Individuen wird es faſt bis zu demſelben Punkte ſteigen. Die Temperatur des Blutes iſt alſo eine ziemlich conſtante Temperatur, ſie giebt einen

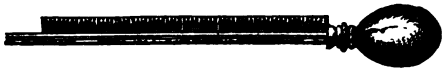
fixen Punkt, den, in Ermangelung feſterer Punkte, man als Ausgangspunkt bei der numeriſchen Bezeichnung der Temperatur nehmen könnte.

Es giebt jedoch andere Temperaturen, welche weit conſtanter ſind, und deren man ſich leichter bedienen kann. Solche Temperaturen liefern uns die Veränderungen des Aggregatzuſtandes der Körper.

113 **Conſtruction des Queckſilberthermometers.** Die Conſtruction des Queckſilberthermometers reducirt ſich auf eine kleine Anzahl einfacher Operationen, deren Ausführung jedoch zum Theil große Geſchicklichkeit erfordert. Nachdem die Röhre präparirt iſt, muß das Queckſilber eingefüllt, die Röhre verſchloſſen und dann das Thermometer graduirt werden.

Die Thermometerröhren müſſen vollkommen cylindriſch ſeyn. Um ſich davon zu überzeugen, bringt man in die zu prüfende Röhre ein kleines Queckſilberſäulchen von 1 bis 2 Centimeter Länge (Fig. 278), bindet dann

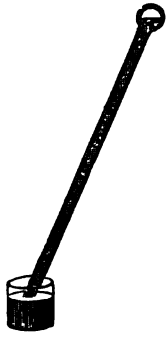
Fig. 278.



an dasjenige Ende der Röhre, an welchem ſich das Queckſilber befindet, eine Blaſe von gummi elasticum an, auf welche man nur leicht zu drücken nöthig hat, um das Queckſilberſäulchen nach und nach durch die ganze Röhre hindurchzutreiben. An verſchiedenen Stellen der Röhre wird nun die Länge des Säulchens mit Hülfe eines Maaßſtabes gemeſſen. Wenn es an jeder Stelle gleich lang iſt, ſo iſt die Röhre cylindriſch, und um ein Thermometer daraus zu machen, hat man zunächſt eine Kugel anzublaſen. Iſt die Röhre nicht cylindriſch, ſo iſt ſie unbrauchbar.

Um das Queckſilber einzufüllen, wird die Kugel erwärmt, damit ſich die darin befindliche Luft ausdehnt, und alsdann die offene Spitze der Röhre raſch in Queckſilber getaucht (Fig. 279). Beim Erkalten der Kugel ſteigt

Fig. 279.



das Queckſilber in der Röhre bis in die Kugel. Es genügt ſchon, wenn auf dieſe Weiſe nur einige Tropfen in die Kugel gelangen. Kehrt man nun den Apparat wieder um, um die Kugel von Neuem zu erhitzen, bis die Flüſſigkeit in's Kochen kommt, ſo füllen die Queckſilberdämpfe bald den ganzen Raum aus, die Luft wird vollſtändig ausgetrieben, und wenn man nun abermals das offene Ende der Röhre raſch in Queckſilber eintaucht, ſo kann man verſichert ſeyn, daß ſich die Kugel vollſtändig mit Queckſilber ausfüllt.

Ehe das Thermometer verſchloſſen wird, muß es *regulirt* werden, d. h. man fügt noch ſoviel Queckſilber hinzu, oder man treibt ſoviel Queckſilber aus, wie es gerade den Temperaturgränzen entſpricht, zwiſchen welchen es ge-

braucht werden ſoll; alsdann wird es zugeſchmolzen. Man kann dabei auf zweierlei Weiſe verfahren, entweder 1) indem man über der Thermometerſäule einen luftleeren Raum macht, oder 2) indem man noch Luft in die Röhre läßt.

Im erſten Falle zieht man die Röhre in eine feine Spitze aus, erwärmt die Kugel über Kohlen, bis oben einige Tröpfchen aus der Spitze hervortreten, und ſchmilzt in dieſem Augenblicke, mit Hülfe der Löthrohrflamme, die feine Spitze zu. Iſt dies geſchehen, ſo hat man die Spitze nur noch in der Flamme abzurunden, nachdem vorher das Queckſilber ſich beim Erkalten der Kugel von der Spitze zurückgezogen hat.

Fig. 280.

Im zweiten Falle ſchmilzt man die Spitze zu, wenn die Thermometerkugel die Temperatur der umgebenden Luft hat; alsdann wird die Spitze rothglühend gemacht, ſo daß das Glas hier auf einige Augenblicke dem Schmelzen ſehr nahe iſt. In dieſem Moment erwärmt man die Kugel raſch, die Queckſilberſäule ſteigt und treibt die Luft gegen die weiche Spitze, wodurch ſich hier ein mehr oder minder großes Reſervoir bildet (Fig. 281), in welches die Luft jederzeit zurückgedrängt wird, wenn die Queckſilberſäule ſteigt. Ohne ein ſolches Reſervoir iſt das Thermometer der Gefahr zu ſpringen ausgeſetzt, wenn man es erwärmt.

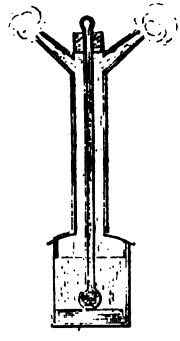
Das Graduiren der Thermometer beſteht darin, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und den Zwiſchenraum (den Fundamentalabſtand) in gleiche Theile theilt. Für die feſten Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Waſſers. Um den Gefrierpunkt zu beſtimmen, ſteckt man die Thermometerkugel und die Röhre, ſo weit das Queckſilber in derſelben reicht, in ein Gefäß mit fein geſtoßenem Eiſe (Fig. 281). Wenn die Temperatur der umgebenden Luft höher iſt als Null, ſo ſchmilzt das Eis, und die ganze Maſſe nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer dieſe Temperatur an und bleibt von dem Augenblicke an vollkommen ſtationär, und man hat nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Queckſilberſäule ſteht. Man bezeichnet dieſen Punkt zuerſt mit Tuſch oder Tinte und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 281.

Um den Siedepunkt zu beſtimmen, nimmt man ein Gefäß mit langem Halſe, Fig. 282, a. f. S. in welchem man deſtillirtes Waſſer zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, ſind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt, und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer iſt alsdann allenthalben von Dampf umgeben, deſſen

Temperatur dieſelbe iſt wie die der oberſten Waſſerſchicht. Das Queckſilber ſteigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es feſt ſtehen bleibt und den es nicht überſchreitet. Man bezeichnet dieſen Punkt wie den Nullpunkt. Wenn in dieſem Augenblicke die Barometerhöhe nicht gerade 760^{mm} iſt, ſo iſt eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede ſeyn wird, angegeben werden ſoll.

Fig. 282.



Bei dem Centeſimalthermometer wird der Zwiſchenraum der beiden fixen Punkte in 100 Theile getheilt, und ſo erhält man die Thermometerſcala.

Alle Thermometer, welche auf dieſe Weiſe conſtruirt ſind, ſind vergleichbare Inſtrumente, d. h. ſie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Man kann Queckſilberthermometer conſtruiren, welche bis zu 360 Grad gehen, weiter aber kann man nicht gehen, weil man ſonſt dem Siedepunkte des Queckſilbers (400°) zu nahe kommt. Unter Null ſind die Angaben des Queckſilberthermometers richtig bis — 30° oder — 35°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Queckſilbers (— 40°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzuſtand ändern, iſt ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Man hat beobachtet, daß bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit ſteigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies beſonders bei ſolchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Queckſilberſäule ſich ein leerer Raum befindet. Die Urſache dieſer Verrückung des Nullpunkts iſt demnach wahrſcheinlich der Druck der äußeren Luft, dem von Innen keinen Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewiſſen Gränze zuſammendrückt. Es iſt deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man ſie zugeſchmolzen hat, einige Monate liegen zu laſſen, bevor man ſie graduirt. Auch darf man nicht verſäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern iſt der Fundamentalbeſtand in 100 Grade getheilt. In Deutſchland und Frankreich iſt das Réaumur'ſche Thermometer noch ſehr verbreitet, bei welchen dieſer Abſtand in 80 Grade getheilt iſt, obgleich man ſich bei wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen jetzt faſt ausſchließlich des von Celſius zuerſt angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es iſt jedoch leicht, Celſius'ſche Grade auf Réaumur'ſche zu reduciren, und umgekehrt, denn da

$$100^0\ \text{C.} = 80^0\ \text{R.},$$

so ist

$$1^0\ \text{C.} = 0{,}8^0\ \text{R.}$$

und

$$1^0\ \text{R.} = 1{,}25^0\ \text{C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschließlich der Fahrenheit'schen Scala, derrn Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so daß also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem absoluten Werthe nach

$$180^0\ \text{F.} = 100^0\ \text{C.},$$

mithin

$$1^0\ \text{F.} = {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

und

$$1^0\ \text{C.} = {}^9/_5{}^0\ \text{F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des andern zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Grundzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0\ \text{F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Produkt 32. Es sind demnach

$$y^0\ \text{C.} = (y \,.\, {}^9/_5 + 32)^0\ \text{F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celſius.	Réaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212.

114 Formeln für die Ausdehnung. Wenn ein feſter Körper ſich ausdehnt, ſo können wir unmittelbar nur die Vergrößerung ſeiner Längendimenſionen, ſeine *lineare Ausdehnung* meſſen. Wenn eine Eiſenſtange bei 0° eine Länge von 2^m hat, ſo wird die Länge dieſes Stabes, wenn er bis zu 100° erwärmt wird, 2,0024^m werden; der Stab iſt alſo um 2,4 Millimeter länger geworden. Die Längenausdehnung, welche der Stab durch eine Temperaturerhöhung von 100° erlittrn hat, verhält ſich alſo zu ſeiner urſprünglichen Länge bei 0° wie 0,0024 : 2, oder wie 0,0012 : 1, d. h. der Stab hat ſich um $\frac{12}{10000}$ ſeiner urſprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil ſeiner Länge (bei 0°) ſich ein feſter Körper ausdehnt, wenn er bis 100° erwärmt wird, nennt man den *Ausdehnungscoëfficienten*. Man findet dieſen Coëfficienten, wenn man die Größe der Ausdehnung, welche ein Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° erleidet, durch ſeine urſprüngliche Länge bei 0° dividirt. Bezeichnet alſo l dieſe urſprüngliche Länge, b die Größe der Ausdehnung, ſo iſt der Ausdehnungscoëfficient

$$r = \frac{b}{l}.$$

Jeder feſte Körper hat einen beſonderen ihm eigenthümlichen Ausdehnungscoëfficienten.

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen ſich faſt alle feſten Körper, wenigſtens innerhalb der Gränzen von 0° bis 100°, regelmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung iſt der Zunahme der Temperatur proportional. Wir haben z. B.

geſehen, daß ſich eine Eiſenſtange, welche bei 0^0 zwei Meter lang iſt, um $2{,}4^{mm}$ ausdehnt, wenn man ſie bis auf 100^0 erwärmt; wenn man ſie aber nur auf 50^0 erwärmt, ſo dehnt ſie ſich auch nur um die Hälfte, alſo um $1{,}2^{mm}$ aus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10^0, von 1^0 dehnt ſie ſich demnach auch nur um $0{,}24^{mm}$, um $0{,}024^{mm}$ aus. Wenn allgemein b die Ausdehnung eines Körpers für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 iſt, ſo iſt $\frac{b}{100}$ die Ausdehnung, welche eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis 1^0 entſpricht; und wenn r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 100^0 iſt, ſo iſt der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 1^0 gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir den Werth von $\frac{r}{100}$ mit n, mit l aber die Länge eines Körpers bei 0^0, ſo iſt ſeine Länge bei 1^0 gleich $l + nl$ oder $l\,(1 + n)$. Bei einer Temperatur von t^0 aber iſt eine Länge

$$l' = l\,(1 + nt).$$

Wenn drei der vier Größen l. l', n und t gegeben ſind, ſo kann man die vierte berechnen.

Die kubiſche Ausdehnung iſt die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. 115 Auch hier wird das Volumen der Körpers bei 0^0 zum Ausgangspunkt genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten verſteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielſten Theil ſeines urſprünglichen Volumens bei 0^0 ſich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn bis auf 100^0 erwärmt. Wenn man ſagt, der Ausdehnungscoëfficient des Queckſilbers ſey 0,018, ſo heißt das, das Queckſilber dehnt ſich bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 um $\frac{18}{1000}$ ſeines Volumens bei 0^0 aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0^0, ſo kann man ſein Volumen für eine Temperatur von t^0 auf dieſelbe Weiſe berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der feſten Körper gezeigt wurde, vorausgeſetzt, daß die Ausdehnung des Körpers regelmäßig iſt.

Bei tropfbar-flüſſigen und gasförmigen Körpern wird durch den Verſuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung beſtimmt, während bei feſten Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoëefficient für die körperliche Ausdehnung feſter Körper iſt dreimal ſo groß als der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann ſich davon durch folgendes Raiſonnement überzeugen. Es

ſey l die Seite eines Würfels bei 0^0, ſo iſt l^3 das Volumen deſſelben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100^0 erwärmt wird, ſo iſt jede Seite $l\,(1+r)$, mithin iſt jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1+r)^3 = l^3\,(1+3r+3r^2+r^3).$$

Da aber r eine ſehr kleine Größe iſt, ſo kann man die höheren Potenzen derſelben vernachläſſigen, und der Werth von v' reducirt ſich demnach auf

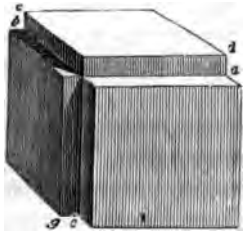
$$v' = l^3\,(1+3r) = v\,(1+3r).$$

Das Volumen v iſt alſo um $3\,r\,v$ gewachſen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen iſt alſo $3r$.

Wir wollen verſuchen, dies noch auf geometriſchem Wege anſchaulich zu machen.

Es ſey $a\,b\,c$ ein aus irgend einem feſten Körper gebildeter Würfel (Fig. 283) bei 0^0. Wenn nun dieſer Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 ſich nur nach Oben ausdehnte, ſo würde ſein Volumen um die quadratiſche Platte $a\,d\,e\,b$ zunehmen, deren Inhalt $v\,r$ iſt, wenn v das Volumen des urſprünglichen Würfels und r der Längen-Ausdehnungscoëfficient iſt. Wenn ſich der Würfel nur nach der linken Seite hin ausdehnte, ſo würde er hier um eine eben ſo große Platte $c\,g\,b\,f$ wachſen, und eine dritte Platte $a\,i\,h\,c$ endlich, deren Inhalt gleichfalls $r\,v$ iſt, das Reſultat der Ausdehnung der Körper nach vorn ſeyn. Der kubiſche Inhalt dieſer drei Platten zuſammen iſt $3\,r\,v$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupaſſen ſind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zuſammentreffen, allein die Größe derſelben iſt ſo unbedeutend, daß ſie vernachläſſigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung $d\,a$ ſehr klein iſt im Vergleich zu der Länge der Seiten des urſprünglichen Würfels, und man kann alſo $3\,r\,v$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens anſehen.

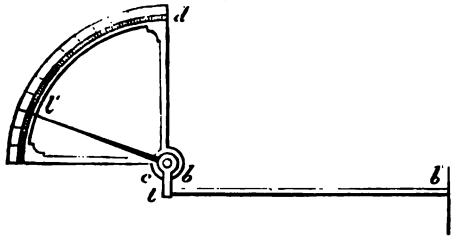
Fig. 283.



116 **Ausdehnung feſter Körper.** Weil die Ausdehnung feſter Körper durch die Wärme ſehr gering iſt, ſo muß man auf Mittel ſinnen, durch welche ſie dem Auge vergrößert wird. Am einfachſten wird dies auf folgende Weiſe erreicht. Eine Stange $b\,b'$, Fig. 284, von dem zu unterſuchenden Körper ſtützt ſich mit einem Ende gegen den feſten Widerhalt $f\,f'$, während ihr anderes Ende gegen den kürzeren Arm eines Winkelhebels $l\,c\,l'$ ſtößt, der ſich um den feſten Punkt c drehen kann. Wenn nun das Ende l des kürzern Hebelarmes durch die Ausdehnung der Stange $b\,b$.

auch nur wenig fortgeſchoben wird, ſo wird das andere Ende l' einen weit größern Weg zurücklegen, und man kann auf dieſe Weiſe die kleinſte Verlängerung der Stange $b\,b'$ noch ſichtbar machen, wenn nur die Länge $c\,l'$ ſehr groß iſt im Vergleich zu $c\,l$.

Fig. 284.

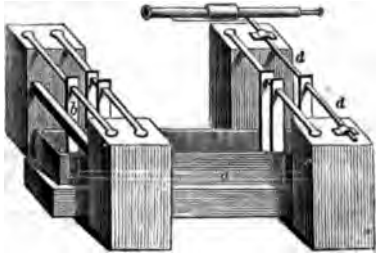


Die größte Schwierigkeit hierbei iſt, daß man nicht leicht die feſte Widerlage $f\,f'$ und die Drehungsaxe c vollkommen unverrückbar machen kann, denn der Abſtand derſelben muß durchaus unverändert bleiben, wenn die Reſultate genau ſein ſollen. Wenn der Punkt c und die Widerlage $f\,f'$ Theile derſelben Unterlage ausmachen, ſo wird ſich dieſe ſelbſt bei einer Temperaturerhöhung ausdehnen und der fragliche Abſtand größer werden.

Dieſe Fehlerquelle iſt auf eine äußerſt ſinnreiche Weiſe in dem Apparat vermieden, deſſen ſich Lavoiſier und Laplace bedienten, um die Ausdehnung feſter Körper zu beſtimmen.

Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange a, Fig 285, lag horizontal auf gläſernen Stäben, über welche ſie frei hingleiten konnte. Als Widerhalt für das eine Ende dieſes Stabes diente ein vertikaler gläſerner Stab b, der an einem horizontalen eiſernen Querſtabe hing, deſſen Enden in zwei große in den Boden eingeſenkte maſſive Pfeiler von Stein eingekittet waren. Das andere Ende des Stabes a war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen gläſernen Stabe c, der von einem um ſeine Axe leicht drehbaren Stabe d getragen wurde. An der Verlängerung dieſer Stange war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr befeſtigt. Hier iſt der Glasſtab c der kürzere, die nach der Scala gerichtete Viſirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn durch die Ausdehnung der Stange a das untere Ende der Stange c auch nur unbedeutend verrückt wird, ſo wird dadurch die Viſirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinſte Drehung auf der entfernten Scala ableſen. Eine Verrückung der Axe d und der feſten Widerlage iſt hier ganz unmöglich.

Fig. 285.

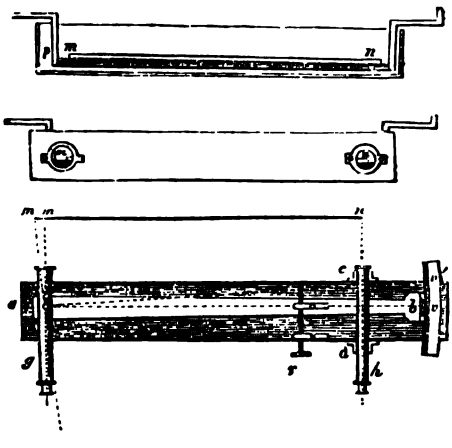


Zwiſchen den vier Pfeilern befindet ſich ein Kaſten, der mit Waſſer oder

mit Oel gefüllt wird, welches gehörig erhitzt werden kann, und in welches der zu unterſuchende Stab eingetaucht iſt.

Dieſer Apparat iſt jedoch füglich nur bis 250°, höchſtens 300° anwendbar. Der folgende Apparat iſt von dieſem Uebelſtande frei und kann außerdem noch dienen, die Länge des Meters und anderer Längenmaaße zu vergleichen und auch noch die kleinſten Differenzen ſichtbar zu machen.

Fig. 286.



Auf einer ſtarken Platte f von Eiſen, Fig. 286, iſt eine Alhidade $a\,b$ befeſtigt, welche 1,1 bis 1,2 Meter lang und um den feſten Punkt a drehbar iſt. Dieſe Alhidade trägt ein Fernrohr g von kurzer Sehweite. Ein zweites Fernrohr iſt auf der Platte in c und d befeſtigt, ſo daß es die Drehung der Alhidade zwiſchen c und d nicht hindert. Bringt man nun einen Stab $m\,n$ ſo vor die Fernröhre, daß die Punkte m und n gerade in ihr Fadenkreuz fallen, und daß ſich alsdann der Stab um $m\,m'$ ausdehnt, während der Punkt n feſt bleibt, ſo muß man die Alhidade $a\,b$ um einen beſtimmten Winkel drehen, damit der Punkt m' wieder in's Fadenkreuz des Fernrohrs g komme; das Ende b muß alſo einen Bogen $v\,v'$ auf der Theilung durchlaufen, welche hier auf der Platte f befeſtigt iſt. Iſt nun ein für allemal das Verhältniß der Hebelarme $a\,m$ und $a\,b$ bekannt, ſo kann man leicht $m\,m'$ beſtimmen, denn

$$\frac{m\,m'}{v\,v'} = \frac{a\,m}{a\,b}.$$

Es kommt alſo Alles darauf an, mit Sorgfalt das Verhältniß dieſer Hebelarme zu beſtimmen. Zu dieſem Zwecke bringt man in m rechtwinklig zur Viſirlinie des beweglichen Fernrohrs ein kleines Metallſtückchen an, auf welches mit möglichſter Genauigkeit vier bis fünf Millimeter gezogen ſind; läßt man nun das Fadenkreuz des Fernrohrs g nach und nach dieſe Abtheilungen durchlaufen, ſo beobachtet man, wie viel Millimeter das Ende b gleichzeitig an ſeiner Theilung durchläuft, wodurch dann das geſuchte Verhältniß der Hebelarme beſtimmt iſt. Um die Drehung der

Alhidade möglichſt genau beſtimmen zu können, befindet ſich in *b* noch ein Nonius, der mit Hülfe eines Mikroſkops abgeleſen wird.

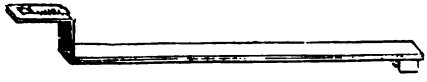
Zur feineren Verſchiebung der Alhidade und zum richtigen Einſtellen des Fernrohrs *g* dient die Stellſchraube *r*.

Wenn man dieſen Apparat anwenden will, um Ausdehnungen unter 300° zu meſſen, ſo bedient man ſich eines Kaſtens von Kupfer. Man ſetzt dieſen auf einen paſſenden Ofen, füllt ihn mit fixem Oel, welches man lange genug unter beſtändigem Rühren auf conſtanter Temperatur erhalten kann. Der Stab, welchen man der Beobachtung unterwerfen will, iſt auf eine Unterlage von Eiſen gelegt, welche auf dem Kaſten ruht, ſo daß ihre Lage durch ein Schraubenſyſtem gehörig regulirt werden kann. Die Enden des Stabes *m n* kommen gerade an zwei Seitenöffnungen zu liegen, welche durch Glasplatten verſchloſſen werden, die ganz einfach gegen die Wand des Kaſtens angedrückt ſind. Man kann es leicht dahin bringen, daß das Ende *n* des Stabes bei jeder Beobachtung gerade vor das Fadenkreuz des feſten Fernrohrs zu liegen kommt, während man mit dem beweglichen Fernrohre mittelſt der Stellſchraube *r* die Bewegung des andern Endes *m* verfolgt.

Um die Ausdehnung bei hohen Temperaturen zu beobachten, wird der Stab auf eine andere Unterlage von Eiſen in einen Ofen von Backſteinen gebracht, durch welchen man heiße Luft oder ſelbſt die Flamme ſtreichen läßt. An dieſem Orte befinden ſich, den Fernröhren gegenüber, kleine Löcher, welche man in dem Augenblicke der Beobachtung öffnet. Wenn die Temperatur des Stabes noch unter der Rothglühhitze iſt, ſo muß man die Punkte, auf welche man viſirt, künſtlich erleuchten. Wie man zu gleicher Zeit die entſprechenden Temperaturen beſtimmt, werden wir ſpäter ſehen.

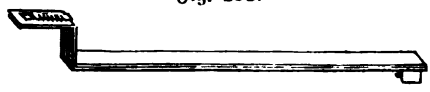
Dulong und Petit haben wieder ein anderes Verfahren angewandt, die Ausdehnung feſter Körper zu beſtimmen, welches auf der Differenz zwiſchen der ſcheinbaren und abſoluten Ausdehnung des Queckſilbers, wovon ſpäter noch die Rede ſeyn wird, beruht. Nachdem auf dieſe Weiſe die Ausdehnung des Glaſes und des Eiſens beſtimmt war, bedienten ſie ſich, um die Ausdehnung anderer feſten Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit ſeiner Gradmeſſung erſonnenen Pyrometers. Dieſes Pyrometer iſt Fig. 287 dargeſtellt. Es beſteht aus zwei Metallſtäben von verſchiedenem Metalle, welche ihrer Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende feſt verbunden ſind. Am andern Ende trägt jeder Metallſtab ein Meſſingſtück, welches zuerſt vertikal aufſteigt

Fig. 287.



und dann horizontal umgebogen iſt. Die horizontalen Arme dieſer Anſatzſtücke können frei an einander hergleiten, wenn die Metallſtäbe ſich ungleich ausdehnen; da ſie aber an der Linie, mit welcher ſie zuſammenſtoßen, eingetheilt ſind, und zwar ſo, daß die Theilung des einen einen Nonius für den andern bildet, daß alſo etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der andern ſind, ſo kann man mit Hülfe dieſes Nonius ſehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallſtäbe ableſen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt iſt, ſo kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des andern beſtimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwandten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Fig. 288.



Wenn der Coëfficient für die lineare Ausdehnung eines Körpers bekannt iſt, ſo kann man, wie ſchon bemerkt wurde, den Coëfficienten für die kubiſche Ausdehnung berechnen. So iſt z. B. der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung des Glaſes 0,000862, folglich der Coëfficient für die Vergrößerung des Volumens 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß erwärmt wird, ſo dehnt es ſich aus, ſein Inhalt wird größer. Die Vermehrung der Capacität des Gefäßes läßt ſich leicht berechnen. Es ſey z. B. der Inhalt eines Glasgefäßes bei 0^0 gleich 1 Liter = 1000 Kubikcent., ſo wird ſein Inhalt bei $100^0 = 1000\,(1 + 0{,}00258)^{kc}$ oder, was daſſelbe iſt, $1002{,}58^{kc}$, d. h. der Inhalt iſt um $2\frac{1}{2}^{kc}$ größer geworden.

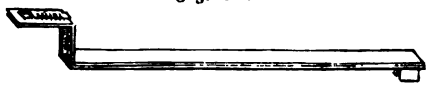
Die folgende Tabelle enthält eine Zuſammenſtellung der beſten Beobachtungen über die Ausdehnung feſter Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoisier und Laplace:			
Englisches Flintglas . . .	0 bis 100°	0,00081166	1/1248
Platin (nach Borda) . . .	» » »	0,00085655	1/1167
Französisches bleihaltiges Glas	» » »	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren . . .	» » »	0,00087572	1/1142
» » . . .	» » »	0,00089694	1/1115
» » . . .	» » »	0,00089760	1/1114
» » . . .	» » »	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain . . .	» » »	0,00089089	1/1123
Stahl (nicht gehärtet) . . .	» » »	0,00107880	1/927
» » » . . .	» » »	0,00107915	1/927
» » » . . .	» » »	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	1/807
Weiches Eisen, geschmiedet .	» » »	0,00122045	1/819
Stabeisen	» » »	0,00123504	1/812
Gold	» » »	0,00146606	1/682
»	» » »	0,00151361	1/661
»	» » »	0,00156155	1/645
Kupfer	» » »	0,00171220	1/584
»	» » »	0,00171733	1/582
»	» » »	0,00172240	1/581
Messing	» » »	0,00186760	1/535
»	» » »	0,00187821	1/533
»	» » »	0,00188970	1/529
Silber	» » »	0,00190868	1/524
»	» » »	0,00190974	1/524
Zinn	» » »	0,00193765	1/516
»	» » »	0,00217298	1/462
Blei	» » »	0,00284836	1/351
Nach Smeaton:			
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	» » »	0,0010833	1/923
Stahl	» » »	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	1/816
Eisen	» » »	0,00125833	1/795
Wismuth	» » »	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	1/588

und dann horizontal umgebogen iſt. Die horizontalen Arme dieſer Anſatzſtücke können frei an einander hergleiten, wenn die Metallſtäbe ſich ungleich ausdehnen; da ſie aber an der Linie, mit welcher ſie zuſammenſtoßen, eingetheilt ſind, und zwar ſo, daß die Theilung des einen einen Nonius für den andern bildet, daß alſo etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der andern ſind, ſo kann man mit Hülfe dieſes Nonius ſehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallſtäbe ableſen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt iſt, ſo kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des andern beſtimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwandten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Fig. 288.



Wenn der Coëfficient für die lineare Ausdehnung eines Körpers bekannt iſt, ſo kann man, wie ſchon bemerkt wurde, den Coëfficienten für die kubiſche Ausdehnung berechnen. So iſt z. B. der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung des Glaſes 0,000862, folglich der Coëfficient für die Vergrößerung des Volumens 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß erwärmt wird, ſo dehnt es ſich aus, ſein Inhalt wird größer. Die Vermehrung der Capacität des Gefäßes läßt ſich leicht berechnen. Es ſey z. B. der Inhalt eines Glasgefäßes bei 0^0 gleich 1 Liter = 1000 Kubikcent., ſo wird ſein Inhalt bei $100^0 = 1000\,(1 + 0{,}00258)^{kc}$ oder, was daſſelbe iſt, $1002{,}58^{kc}$, d. h. der Inhalt iſt um $2\frac{1}{2}^{ko}$ größer geworden.

Die folgende Tabelle enthält eine Zuſammenſtellung der beſten Beobachtungen über die Ausdehnung feſter Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoisier und Laplace:			
Englisches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	1/1248
Platin (nach Borda)	» » »	0,00085655	1/1167
Französisches bleihaltiges Glas	» » »	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren	» » »	0,00087572	1/1142
» »	» » »	0,00089694	1/1115
» »	» » »	0,00089760	1/1114
» »	» » »	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain	» » »	0,00089089	1/1122
Stahl (nicht gehärtet)	» » »	0,00107880	1/927
» » »	» » »	0,00107915	1/927
» » »	» » »	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	1/807
Weiches Eisen, geschmiedet	» » »	0,00122045	1/819
Stabeisen	» » »	0,00123504	1/812
Gold	» » »	0,00146606	1/682
»	» » »	0,00151361	1/661
»	» » »	0,00156155	1/645
Kupfer	» » »	0,00171220	1/584
»	» » »	0,00171733	1/582
»	» » »	0,00172240	1/581
Messing	» » »	0,00186760	1/535
»	» » »	0,00187821	1/532
»	» » »	0,00188970	1/529
Silber	» » »	0,00190868	1/524
»	» » »	0,00190974	1/524
Zinn	» » »	0,00193765	1/516
»	» » »	0,00217298	1/462
Blei	» » »	0,00284836	1/351
Nach Smeaton:			
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	» » »	0,0010833	1/923
Stahl	» » »	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	1/816
Eisen	» » »	0,00125833	1/795
Wismuth	» » »	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	1/588

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn	0 bis 100°	0,00181667	$\frac{1}{550}$
Meſſing, gegoſſen	» » »	0,00187500	$\frac{1}{533}$
Meſſingdraht	» » »	0,00193333	$\frac{1}{517}$
Spiegelmetall zu Teleſkopen	» » »	0,00193333	$\frac{1}{517}$
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink)	» » »	0,00205833	$\frac{1}{486}$
Feines Zinn	» » »	0,00228333	$\frac{1}{438}$
Weißes Loth (1 Thl. Zinn, 2 Thle. Blei)	» » »	0,00250533	$\frac{1}{399}$
Blei	» » »	0,00286667	$\frac{1}{349}$
Zink	» » »	0,00294167	$\frac{1}{340}$
Nach Roy:			
Glas in Röhren	0 bis 103°	0,00077550	$\frac{1}{1289}$
Glas, ſolider Stab	» » »	0,00080833	$\frac{1}{1237}$
Eiſen, gegoſſenes Prisma	» » »	0,0011100	$\frac{1}{901}$
Stahl	» » »	0,00114450	$\frac{1}{874}$
Meſſing von Hamburg	» » »	0,00185550	$\frac{1}{539}$
Meſſing, engliſches	» » »	0,00189296	$\frac{1}{528}$
Nach Troughton:			
Platin	0 bis 100°	0,00099180	$\frac{1}{1008}$
Stahl	» » »	0,00118990	$\frac{1}{840}$
Eiſen (in Drahtzug gezogen)	» » »	0,00144010	$\frac{1}{694}$
Kupfer	» » »	0,00191880	$\frac{1}{521}$
Silber	» » »	0,00208260	$\frac{1}{480}$
Nach Wollaſton:			
Palladium	0 bis 100°	0,00100000	$\frac{1}{1000}$
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	$\frac{1}{1131}$
	0 bis 300°	0,00275482	$\frac{1}{363}$
Glas	0 bis 100°	0,00086133	$\frac{1}{1161}$
	0 bis 200°	0,00184502	$\frac{1}{454}$
	0 bis 300°	0,00303252	$\frac{1}{329}$
Eiſen	0 bis 100°	0,00118210	$\frac{1}{546}$
	0 bis 300°	0,00440528	$\frac{1}{227}$
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	$\frac{1}{582}$
	0 bis 300°	0,00564972	$\frac{1}{177}$

Von 0 bis 100° iſt im Allgemeinen die Ausdehnung der feſten Körper regelmäßig, über 100° hinaus aber nimmt ſie zu.

Anwendung der Ausdehnung fester Körper. Die Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Compression entgegensetzen. Es sey ein Gewicht von 1000 Kilogrammen nöthig, um eine vertikale Eisenstange gerade um so viel zusammenzudrücken, als sie sich bei einer Temperaturerniedrigung von 1^0 zusammenzieht; so ist klar, daß, wenn man die Stange mit einem Gewicht von 1000^{kg} belastet, sie aber um 1^0 erwärmt, sich alsdann die durch die Wärme veranlaßte Ausdehnung und die durch die Last bewirkte Compression compensiren, daß also ihre Länge unverändert bleibt. Man kann daraus schließen, mit welcher ungeheuren Kraft sich die Körper ausdehnen und zusammenziehen. Die Flüssigkeiten, welche etwas compressibel sind, sich aber stark ausdehnen, können die größten Wirkungen dieser Art hervorbringen. Wegen der Ausdehnung des Eisens darf man bei größeren Bauten, wo eine größere Zahl von Eisenstäben aneinandergereiht werden muß, z. B. bei Eisenbahnen, nicht ein Stück genau an das andere anstoßen lassen, sondern man muß sie so in einander schieben, daß noch ein kleiner Zwischenraum für die Ausdehnung bleibt. Bei Röhrenleitungen ist die Sache schwieriger; man erreicht hier den Zweck durch Bleistreifen, mit welchen man dasjenige Ende der Röhre umwickelt, welches in die weitere Oeffnung der folgenden Röhre hineingesteckt wird. 117

Die Kraft, mit welcher sich die Körper beim Erkalten zusammenziehen ist gleich dem Widerstande, den sie einer Kraft entgegensetzen, welche sie aus einander zieht. Wenn eine Kraft von 1000^{kg} nöthig ist, um eine Eisenstange so viel zu verlängern, wie dies auch durch eine Temperaturerhöhung von 1^0 geschieht, so ist klar, daß, wenn man an den Eisenstab eine Last von 1000^{kg} hängt und die Temperatur um 1^0 erniedrigt, alsdann die durch Erkaltung bewirkte Contraction und die durch den Zug bewirkte Verlängerung sich compensiren. Wenn z. B. eine Eisenstange zwischen zwei festen Widerlagen steht, welche sie durch die Kraft ihrer Ausdehnung nicht fortrücken kann, so muß sich die Eisenstange biegen; und wenn die Enden einer Eisenstange so befestigt sind, daß sie beim Erkalten durch die Kraft, mit welcher die Zusammenziehung erfolgt, nicht genähert werden können, so muß die Stange reißen. Daher kommt es, daß beim Gießen häufig Stücke zerbrechen, wenn man bei den Formen nicht Rücksicht darauf genommen hat, daß sich das Metall beim Erkalten gehörig zusammenziehen kann.

Compensationspendel. Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger seyn als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel

zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, ſo iſt der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compenſationspendeln iſt dieſer nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 289 ſtellt ein

Fig. 289.

Compenſationspendel der einfachſten Art dar. Auf dem unteren horizontalen Bügel des Rahmens $a\,d$, welcher von Eiſen iſt, ſind zwei vertikale Stäbe von einem andern Metall befeſtigt, welches ſich ſtärker ausdehnt als das Eiſen. Dieſe Stäbe tragen einen horizontalen Bügel $n\,\varpi$, an dem wieder eine eiſerne Stange hängt, welche die Linſe trägt. Durch die Verlängerung der äußeren und mittelſten Eiſenſtange wird die Linſe geſenkt, durch die Ausdehnung der in der Figur dunkleren Stäbe aber wird ſie gehoben. Geſetzt, jede der helleren Stangen verlängere ſich um 1^{mm}, ſo wird dadurch die Linſe um 2^{mm} geſenkt; wenn aber nun jede der dunkleren Stangen ſich um 2^{mm} verlängert, ſo wird die Linſe dadurch wieder um 2^{mm} gehoben, die Pendellänge bleibt alſo unverändert.

Compenſationsſtreifen nennt man ein Syſtem von zwei Metallſtreifen, welche ſich ungleich ausdehnen, und welche entweder zuſammengelöthet oder zuſammengenietet ſind. Geſetzt, der eine Streifen ſey von Zink, der andere von Eiſen, und das Syſtem bilde bei 20^0 eine gerade Linie, ſo wird es ſich bei höherer Temperatur ſo biegen, daß das Zink außen iſt, Fig. 290, weil ſich das Zink ſtärker

Fig. 290.

ausdehnt. Unter 20^0 wird ſich der Streifen auf die entgegengeſetzte Weiſe krümmen, ſo daß das Zink innen iſt, weil ſich das Zink ſtärker zuſammenzieht. Man hat dies bei der Conſtruction der Unruhe in Chronometern benutzt, um den Seeleuten Uhren in die Hand zu geben, deren Genauigkeit nichts zu wünſchen übrig läßt.

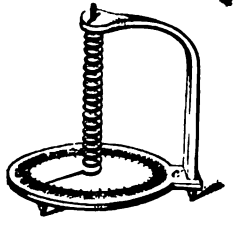
Fig. 291.

Quadrantenthermometer, Fig. 291. Der Compenſationsſtreifen $f\,g\,h$, aus Kupfer und Stahl zuſammengeſetzt, iſt bei f befeſtigt und krümmt ſich über g nach h. Um eine Axe dreht ſich ein Hebel, deſſen kurzer Arm ſtets gegen den Streifen bei h angelehnt und deſſen größerer Arm b mit Zähnen $d\,d'$ verſehen iſt. Die kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung am Ende h bewirkt werden, ſind auf dieſe Weiſe ſchon im Verhältniß der Hebelarme vergrößert. Die Zähne $d\,d'$ greifen in ein kleines, um die centrale Axe drehbares Getriebe; die Nadel $l\,s$ endlich, welche um dieſelbe

Axe drehbar ist, vergrößert noch die Bewegung des Getriebes. Wenn sich der Compensationsstreifen in Folge einer Temperaturveränderung stärker krümmt, so werden dadurch die Zähne in der Richtung von *d* nach *d'* gedreht, während, wenn der Compensationsstreifen sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt, die rückgängige Bewegung des Zeigers durch eine um die centrale Axe gewundene Spiralfeder bewirkt wird. Man berechnet die Dimensionen so, daß eine Temperaturerhöhung von 100° C. ungefähr eine Umdrehung der Nadel bewirkt. Instrumente dieser Art müssen nach einem Quecksilberthermometer graduirt werden, entweder von Grad zu Grad, oder doch wenigstens von 10 zu 10 Grad.

Breguet's Thermometer ist unter allen Metallthermometern das empfindlichste. Es besteht aus einem 1 bis 2 Millimeter breiten Bande von Metall, welches spiralförmig aufgewunden ist, wie Fig. 292 zeigt.

Fig. 292.



Oben ist die Spirale an einem Stücke Messing befestigt, von dem sie frei herunterhängt. An ihrem unteren Ende trägt sie eine horizontale, sehr leichte Nadel, deren Spitze einen getheilten Kreis durchläuft. Die Kreisscheibe ist in der Mitte durchbrochen und ruht auf drei Füßen, damit die Luft leicht zwischen den Windungen der Spiralen circuliren kann. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt, damit er vor äußeren Störungen gesichert ist.

Das Spiralband ist aus drei über einander gelegten Metallschichten zusammengesetzt, Silber, Gold und Platin; der Goldstreifen ist in der Mitte und dient, um die beiden anderen Metalle zusammenzulöthen. Da ein solches System immer noch eine bedeutende Dicke hat, so wird es ausgewalzt, bis seine ganze Dicke $^1/_{60}$ Millimeter beträgt. Man kann daraus schließen, wie außerordentlich gering die Masse dieses Bandes ist, und wie schnell es also die Temperatur der Luft annimmt, die es berührt.

Durch die ungleiche Ausdehnung von Silber und Platin wird die Spirale auf- und zugewunden; wenn also die Temperatur steigt oder sinkt, so wird sich die Nadel bewegen. Auch dieses Instrument wird nach einem Quecksilberthermometer graduirt.

Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen. Mitscherlich hat nachgewiesen, daß Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden. 118

Es läßt ſich dies am leichteſten am kryſtalliſirten Gyps und zwar an der Varietät nachweiſen, von welcher ſchon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskryſtalle dieſes Minerals, welche ungefähr die Geſtalt Fig. 293 haben und unter dem Namen »Schwalbenſchwänze« bekannt ſind. Aus einer ſolchen Platte wird ein Stück in der Weiſe herausgeſchnitten, daß die Schnittflächen $a\,b$ und $d\,e$ rechtwinklig auf der Zuſammenſetzungsfläche $m\,m'$ der beiden Individuen ſtehen. Bei der Temperatur, bei welcher der Kryſtall geſchliffen wird,

Fig. 293.

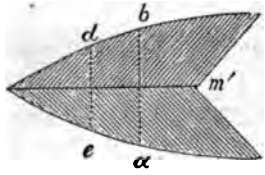
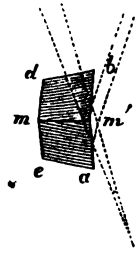


Fig. 294.



ſind dieſe beiden Schnittflächen vollkommen eben; ſobald man aber den Kryſtall auf 60 bis 80° erwärmt, erſcheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig. 294 angedeutet iſt, denn man erblickt, nach $b\,m'\,a$ hinſehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenſtandes, woraus hervorgeht, daß der Kryſtall durch ungleichförmige Ausdehnung ſeine Geſtalt verändert hat.

Aehnliche Erſcheinungen laſſen ſich auch hervorbringen, wenn man zwei Kryſtalle ſo zuſammenkittet, daß die Richtung der Axen in beiden verſchieden iſt, und dann in ähnlicher Weiſe eine Fläche anſchleift, wie beim Gypszwilling; dieſe Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erſcheinen.

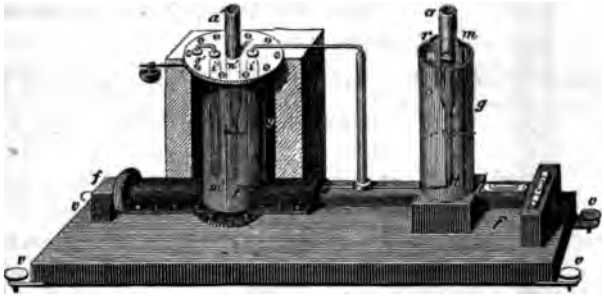
119 **Ausdehnung der Flüſſigkeiten.** Bei den Flüſſigkeiten haben wir eine abſolute und eine ſcheinbare Ausdehnung zu unterſcheiden. Die ſcheinbare Ausdehnung iſt die, welche man an den in Gefäßen eingeſchloſſenen Flüſſigkeiten wirklich beobachtet; die abſolute Ausdehnung dagegen iſt diejenige, welche man beobachten würde, wenn ſich das Gefäß ſelbſt durchaus nicht ausdehnte.

Dulong und Petit haben die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers direct mittelſt eines Apparates beſtimmt, welcher auf *dem hydroſtatiſchen* Principe beruht, daß die Höhe flüſſiger Säulen, welche

ſich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältniſſe der Dichtigkeit ſteht.

In Fig. 295 ſtellen $a\,t$ und $a'\,t'$ zwei vertikale Röhren dar, welche durch die horizontale Röhre $t\,t'$ verbunden ſind; ſie werden bis zur Höhe

Fig. 295.



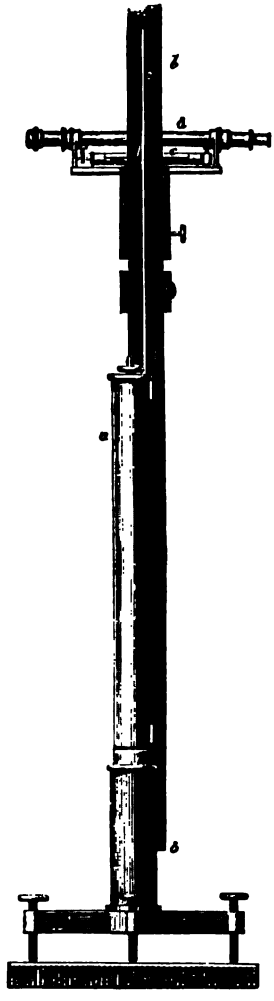
$n\,n'$ mit Queckſilber gefüllt. Die Röhren ſind ſo weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann. Dieſer Apparat iſt auf einer eiſernen Platte $f\,f$ befeſtigt, die ſelbſt wieder auf einem ſtarken Brette von Holz ruht, welches durch die Schrauben v in's Niveau geſtellt werden kann. Die eiſernen Stäbe m und m' mit den Ringen c und c' erhalten die Röhren in vertikaler Stellung. Der Stab m endigt oben mit einem eiſernen Bügel, deſſen Ende r als Viſirpunkt dient.

Einer der Schenkel wird fortwährend auf der Temperatur von 0^0 erhalten, während der andere nach und nach erwärmt wird, und Alles kommt darauf an, mit Genauigkeit die ungleichen Höhen der beiden Queckſilberſäulen und die Temperatur der erwärmten zu beſtimmen.

Die Höhe der Säulen über der Axe der Röhre $t\,t'$ werden durch ein beſonderes Inſtrument gemeſſen, welches man Kathetometer nennt. Ein mit drei Stellſchrauben verſehener Fuß, Fig. 296 auf folg. Seite, trägt einen maſſiven vertikalen Stab, um welchen ſich eine Hülſe a frei, jedoch mit etwas Reibung, drehen läßt. Ein getheilter Stab $b\,b$ iſt an dieſer Hülſe befeſtigt. Der getheilte Stab iſt durch einen Anſatz c unbiegſam gemacht. Ein horizontales Fernrohr d, welches mit einer Libelle e, einer Corrections- und einer Stellſchraube verſehen iſt, kann auf der ganzen Länge des getheilten Stabes $b\,b$ auf- und niedergeſchoben werden. Der Träger des Fernrohrs iſt mit einem Nonius verſehen, welcher ſich an der Theilung des Stabes hin bewegt, und mit Hülfe deſſen man noch $1/20$ bis $1/30$ Millimeter ſchätzen kann. Um das Inſtrument zu reguliren, wird das Fernrohr mittelſt der Libelle genau horizontal geſtellt und dann das

ganze Inſtrument mittelſt der Stellſchraube des Fußes ſo gerichtet, daß man mit dem getheilten Stabe eine ganze Umdrehung um die feſte Axe machen kann, ohne daß das Niveau der Libelle ſich ändert. Fig. 295 ſtellt den Aufriß, Fig. 298 den Grundriß und Fig. 297 die Anſicht des Fernrohrs von der andern Seite dar.

Fig. 296.



Zu den fraglichen Verſuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung ſo aufgeſtellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren at und $a't'$, Fig. 295, in's Geſichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülſe a etwas um ihre vertikale Axe dreht. Man beſtimmt nun ein für allemal die Höhe des Viſirpunktes r über der Axe der horizontalen Röhre tt'. Iſt dies geſchehen, ſo beſtimmt man, wie viel man, vom Viſirpunkte r ausgehend, das Fernrohr auf- oder niederſchieben muß, um die Gipfel der beiden Queckſilberſäulen nach einander in der Richtung der Axe des Fernrohrs zu bringen.

Fig. 297.

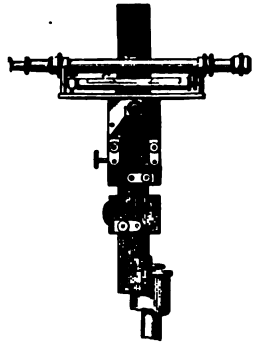
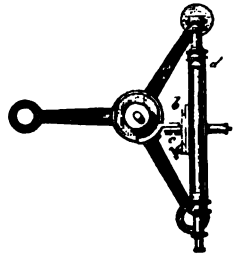


Fig. 298.



Die Temperaturen werden auf folgende Art beſtimmt. Ein Cylinder g, welcher die Röhre at umgiebt, wird mit geſtoßenem Eiſe angefüllt. Nach dem Gipfel der Queckſilberſäule viſirt man durch ein Fenſter o. Da die Temperatur des Stabes m immer unverändert bleibt, ſo iſt auch der Viſirpunkt r vollkommen feſt. Die Röhre $a't'$ iſt ebenfalls von einem Cylinder g aus

Kupferblech umgeben, der mit einem fixen Oele angefüllt wird, welches wenigſtens bis 300° erhitzt werden kann, ohne zu kochen. Dieſer Kupfercylinder iſt wieder von einem Ofen umgeben, welcher dazu dient, die Temperatur des Oelbades zu erhöhen. Vor jeder Beobachtung wurden alle Oeffnungen des Ofens verſchloſſen, in Folge deſſen die Temperatur wenigſtens ſo lange Zeit, als man zur Beobachtung nöthig hat, conſtant bleibt.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer i und i' beſtimmt, von denen das eine ein Lufthermometer, das andere ein Gewichts-Queckſilberthermometer iſt. Die Einrichtung und den Gebrauch derſelben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieſer Methode, welche von der Ausdehnung des Glaſes ganz unabhängige Reſultate giebt, fanden Dulong und Petit, daß ſich das Queckſilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55{,}50}$ oder, was daſſelbe iſt, um 0,018018 . . . ſeines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Queckſilbermaſſe bei 0° bezeichnet, ſo wird dieſelbe Maſſe bei 100° ein Volumen 1,018 . v einnehmen.

Wenn man die Temperaturen des Oelbades nach dem Lufthermometer beſtimmt, ſo findet man, daß der Ausdehnungscoëfficient des Queckſilbers über 100° hinaus zunimmt.

Die ſcheinbare Ausdehnung einer Flüſſigkeit iſt die Differenz zwiſchen ihrer abſoluten Ausdehnung und der kubiſchen Ausdehnung des Gefäßes, in welchem ſie ſich befindet. Um die ſcheinbare Ausdehnung zu beſtimmen, kann man die beiden folgenden Methoden anwenden.

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältniſſe das Volumen eines ſolchen Röhrenſtücks, welches zwiſchen zwei Theilſtrichen liegt, zum Inhalte der Kugel ſteht. Es iſt in der Regel mit großen Schwierigkeiten verbunden, dieſes Verhältniß genau zu beſtimmen.

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines ſogenannten Gewichtsthermometers, welches ſo eben ſchon erwähnt wurde. Ein Glasgefäß, am beſten von der Fig. 299 dargeſtellten Form, welches in eine feine gekrümmte Spitze ausgezogen iſt, wird mit Queckſilber von 0° gefüllt. Man beſtimmt alsdann das Gewicht des bei 0° im Gefäße enthaltenen Queckſilbers und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Waſſer- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur ſteigt, deſto mehr Queckſilber wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge des Queckſilbers, welches auf dieſe Weiſe aus dem Gefäße heraustritt, kann man die ſcheinbare Ausdehnung ermitteln. Geſetzt, das Queckſilber, welches bei 0° einen ſolchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe

Fig. 299.

es bis 100° erwärmt, und dabei ſey ſo viel Queckſilber ausgetreten, daß das, was im Gefäße zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, ſo iſt klar, daß das Queckſilber, wenn man die Ausdehnung des Gefäßes nicht berückſichtigen müßte, bei einer Temperaturerhöhung von 100° ſich im Verhältniß von 260 zu 264 ausdehnte, d. h. alſo die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers von 0° bis 100° beträgt $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$.

Das Seite 307 angeführte Gewichts-Queckſilberthermometer, mit Hülfe deſſen man die Temperatur des Oelbades beſtimmt, iſt ein Apparat dieſer Art. Man beſtimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Queckſilbers.

Wenn die ſcheinbare Ausdehnung einer Flüſſigkeit und die kubiſche Ausdehnung des Gefäßes bekannt iſt, ſo kann man die abſolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die kubiſche Ausdehnung des Gefäßes beſtimmen, wenn man die abſolute und ſcheinbare Ausdehnung der Flüſſigkeit kennt.

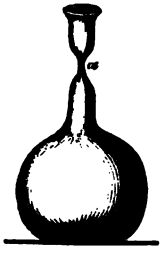
Dulong und Petit fanden für die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers in Glasgefäßen von 0° bis 100° $\frac{1}{64{,}80}$, oder, was daſſelbe iſt, 0,015432. Da nun die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers nach ihren Verſuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 iſt, ſo iſt die kubiſche Ausdehnung des Glasgefäßes $0{,}018018 - 0{,}015432 = 0{,}002586$. Nun aber findet man den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausflußcoëfficienten für die kubiſche Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glaſes ergiebt ſich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, wie man ihn auch auf Seite 300 angegeben findet. Auf dieſem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëffiicienten des Glaſes beſtimmt.

Durch ſehr genaue Verſuche hat Regnault gezeigt, das die Ausdehnung verſchiedener Glasſorten bei höheren Temperaturen ſo ungleichförmig iſt, daß dadurch ein ganz verſchiedener Gang der Thermometer veranlaßt wird, ſo daß zwei Thermometer, deren Kugeln aus verſchiedenen Glasſorten gefertigt ſind und welche zwiſchen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Kryſtallglas 340,07 Grad an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demſelben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug alſo 6,35°.

Die meiſten Flüſſigkeiten dehnen ſich ſelbſt zwiſchen 0° und 100° nicht regelmäßig aus, wie wir dies alsbald ſehen werde.

Um die Ausdehnung verſchiedener flüſſiger Körper durch den Verſuch zu beſtimmen, kann man ſich eines Apparates bedienen, wie der iſt, welcher Fig 299 abgebildet iſt und benutzt wird, die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers zu finden; ungleich bequemer aber iſt der Fig. 300 abgebildete, von Gay-Luſſac angegebene Apparat. Der Hals eines Glasgefäßes von entſprechender Größe iſt an einer Stelle ganz eng ausgezogen, ſo daß ſich über der engen Stelle gewiſſermaßen ein Trichter befindet. Die engſte Stelle des Halſes *a* iſt auf irgend eine Weiſe markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu unterſuchenden Flüſſigkeit, ſo daß ſie noch über *a* hinaus im Trichter ſteht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit ſchmelzendem Schnee oder ſchmelzendem Eiſe umgiebt. Iſt die Flüſſigkeit bis auf 0° erkaltet, ſo entfernt man alle Flüſſigkeit, welche noch über der Marke ſteht. Wenn man die ſo gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte daß des Glasgefäßes abzieht, ſo erhält man das Gewicht der Flüſſigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt ſich die Flüſſigkeit aus, ſie ſteigt über die Marke *a* in den Trichter. Wenn man bis zu einer beſtimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über *a* ſtehende Flüſſigkeit wieder weg, und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt ſich dann leicht die ſcheinbare Ausdehnung berechnen.

Fig. 300.



Dichtigkeit des deſtillirten Waſſers. Alle Körper ändern fort- 120
während, unter dem Einfluſſe der Wärme, ihr Volumen, ſie ändern alſo auch ihre Dichtigkeit; im Geſetze dieſer Veränderungen macht aber das Waſſer eine merkwürdige Ausnahme. Wenn man von 0° an ſeine Temperatur erhöht, zieht es ſich zuſammen, anſtatt ſich auszudehnen; es zieht ſich mehr und mehr zuſammen bis zu einer Temperatur von 4°, und von dieſer Temperatur an dehnt es ſich dann aus, wenn es noch mehr erwärmt wird. Bei einer Temperatur von 4° hat alſo das Waſſer ein Dichtigkeitsmaximum. Am beſten läßt ſich dieſes Phänomen an einem Waſſerthermometer beobachten; um aber die Erſcheinung recht deutlich zu machen, muß man ein Thermometer von etwas großen Dimenſionen anwenden; ganz beſonders möchte in dieſer Hinſicht der Fig. 301 auf der folgenden Seite abgebildete Apparat zu empfehlen ſeyn.

Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, iſt mit einer meſſingenen Faſſung verſehen, in welche eine in Meſſing gefaßte Glasröhre aufgeſchraubt werden kann, wie Fig 302 deutlicher zeigt. Zwiſchen der oberen Fläche der Faſſung des Ballons und der Faſſung der Röhre iſt eine mit

Talg getränkte Lederſcheibe eingelegt, ſo daß man überzeugt ſeyn kann, daß bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Waſſer entweicht. Am unteren Ende der Schraube iſt ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieſes Thermometer, ganz von dem Waſſer des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur deſſelben. Zu genauer Meſſung der Temperatur kann jedoch dieſes Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig ableſen kann. An der Glasröhre iſt ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Waſſerſäule im Rohre abzuleſen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den unterſten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Fig 301.

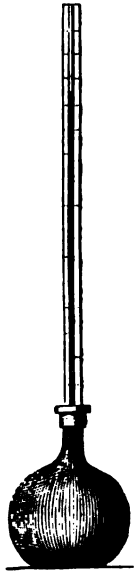
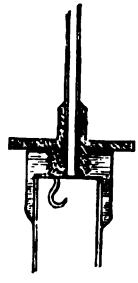


Fig. 302.



Mit einem Apparate dieſer Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Waſſers.	Stand des Waſſers in der Röhre.	Reducirter Waſſerſtand.
0	48,75^{cm}	48,75^{cm}
1,56	39,25^{cm}	42,79^{cm}
3,5	31,25^{cm}	39,19^{cm}
4	30,3^{cm}	39,38^{cm}
5,25	29,17^{cm}	41,09^{cm}
5,75	29,12^{cm}	42,17^{cm}
8	32,25^{cm}	50,41^{cm}
9	36,25^{cm}	56,68^{cm}
12	56,25^{cm}	82,49^{cm}
16,25	89,25^{cm}	126,14^{cm}

Während alſo bei einer Temperatur von 0^{0} das Waſſer in der Röhre 48$^{3}/_{4}$ Centimeter über dem Nullpunkte ſtand, ſank es bis auf 29,12^{cm}, alſo um 19,63^{cm}, während die Temperatur um 5,75^{0} ſtieg; bei noch mehr wachſender Temperatur ſtieg aber das Waſſer in der Röhre wieder. Dieſe Beobachtungsreihe, welche Fig. 302 durch die Linie *ab* graphiſch dargeſtellt iſt, ſcheint auf den erſten Anblick anzudeuten, daß das Dichtig-

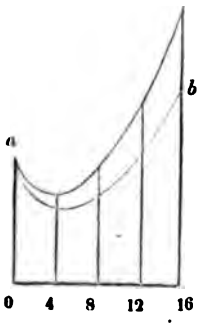
keitsmaximum des Waſſers bei einer Temperatur von $5^1/_4{}^0$ ſtattfindet; aus dieſer Beobachtungsreihe aber folgt ein ganz anderes Reſultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt.

Wenn von 0^0 an die Temperatur ſteigt, zieht ſich das Waſſer zuſammen, das Volumen des Glasgefäßes aber vergrößert ſich; das beobachtete Sinken der Waſſerſäule iſt alſo gleichſam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Waſſers und der Ausdehnung des Glaſes; um genau die Lage des Dichtigkeitsmaximums und die Größen-Veränderungen in der Dichtigkeit des Waſſers zu ermitteln, muß man genau die Capacität des Gefäßes und der Röhre ausmitteln.

Der Innhalt des Ballons betrug bei jenem Apparat 1016 Kubikcentimeter, ein Röhrenſtock von 10 Centimeter Länge hatte aber eine Capacität von 0,118 Kubikcent. Berechnet man die kubiſche Ausdehnung des Glasgefäßes für 1^0 C., ſo findet man, daß es ſich für eine ſolche Temperaturerhöhung um 0,02682 Kubikcent. ausdehnt; wenn alſo das Waſſer unter dem Einfluſſe der Wärme ſich weder ausdehnte, noch zuſammenzöge, ſo würde doch, ſo oft die Temperatur um 1^0 ſteigt, in Folge der Glasausdehnung das Waſſer in der Röhre um 2,27 Centimeter ſinken, da, wie man leicht berechnen kann, ein Röhrenſtock von 2,27 Cemtimeter Länge einen kubiſchen Inhalt von 0,0268 Kubikcentimetern hat.

Nun iſt es leicht, den Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Erſcheinung nachzuweiſen; wenn keine Glasausdehnung ſtattfände und der Ballon ſtets dieſelbe Capacität hätte wie bei 0^0, ſo würde bei 1^0 das Waſſer um $2{,}27^{cm}$, bei 2^0 um 2 . 2,27, bei 3^0 um 3 . 2,27 u. ſ. w. höher ſtehen, als man beobachtet hat. Berechnet man auf dieſe Weiſe für jede der in obiger Tabelle enthaltenen Temperaturen den Waſſerſtand, wie er ſeyn würde, wenn die Glasausdehnung nicht influirte, ſo erhält man die Zahlen der dritten Columne obiger Tabelle, welche den Gang der Zuſammenziehung und der Ausdehnung des Waſſers darſtellen. Nach dieſen Zahlen iſt die wahre Ausdehnungscurve $a\,c$, Fig. 303, des Waſſers conſtruirt. Man ſieht, daß das Dichtigkeitsmaximum wirklich in der Nähe von 4^0 liegt.

Fig. 303.



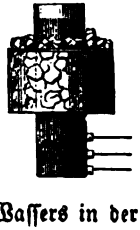
Wenn man beabſichtigt, mit dieſem Apparate genaue Meſſungen zu machen, ſo muß man ihn in einem Zimmer aufſtellen, in welchem kein ſehr raſcher Temperaturwechſel ſtattfinden kann, denn nur in dieſem Falle kann die Temparatur der ziemlich bedeutenden Waſſermaſſe der Temperatur der Umgebung folgen. Man beobachtet dann von Zeit zu Zeit die correſpondi-

renden Temperaturen und Waſſerſtände in der Röhre. Begreiflicher Weiſe erfordert eine vollſtändige Beobachtungsreihe der Art eine Zeit von wenigſtens einigen Monaten. Bei der Beobachtungsreihe, deren Reſultate in der Tabelle auf Seite 310 angeführt ſind, wurden nicht alle Vorſichtsmaßregeln angewandt, um ein ganz genaues Reſultat zu ſichern; doch ſind dieſe Reſultate der Wahrheit gewiß ſehr nahe und dienen ſehr gut, um den Gang des Phänomens zu überſehen.

Dieſe merkwürdige Eigenſchaft des Waſſers wurde ſchon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet. Sie veranlaßt die Erſcheinung, daß, wenn man mitten in ein etwa 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites, mit warmem Waſſer gefülltes Gefäß zwei Thermometer ſo einſenkt, daß die Kugel des einen etwa 2 Zoll unter dem Waſſerſpiegel, die des andern aber 2 Zoll über dem Boden ſich befindet, dann das Gefäß in einem 1° bis 2° warmen Zimmer langſam erkalten läßt, daß alsdann anfangs das untere Thermometer tiefer ſteht, daß ohngefähr bei 4° beide Thermometer gleich ſtehen, daß aber bei fernerem Erkalten das untere Thermometer eine höhere Temperatur zeigt. Anfangs iſt nämlich das an den Wänden des Gefäßes abgekühlte Waſſer ſchwerer als das etwas wärmere Waſſer in der Mitte, es entſteht alſo ein Strom, das warme Waſſer ſteigt in der Mitte, das kältere ſinkt auf den Seiten. Dieſer Strom kehrt ſeine Richtung um, ſobald die Erkaltung unter 4° fortgeſchritten iſt. Bei der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums findet gar kein Strom Statt, und beide Thermometer zeigen gleiche Temperatur. Tralles, Hope und Hallſtröm haben die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums gerade dadurch beſtimmt, daß ſie beobachteten, bei welcher Temperatur jene beiden Thermometer gleich ſtehen.

Man kann zu dieſem Verſuche auch den Fig. 304 abgebildeten Apparat anwenden, bei welchem die Erkaltung durch Eisſtücke hervorgebracht wird, die ſich in einer Hülle befinden, welche den oberen Theil des mit Waſſer gefüllten Gefäßes umgiebt.

Fig. 304.



Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums iſt 4°, als Mittel aus den beſten Beobachtungen, welche zwiſchen 3,780° und 4,108° ſchwanken. Dieſe Differenzen zwiſchen den Beobachtungen ſind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie außerordentlich wenig ſich die Dichtigkeit des Waſſers in der Nähe dieſes Punktes ändert.

Die Dichtigkeit des Waſſers für verſchiedene Temperaturen zwiſchen 0° und 20° beſtimmte Hallſtröm mit Hülfe der hydroſtatiſchen Wage. Nach ſeinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Waſſers von 0° bis zur Temperatur der größten Dichtigkeit 0,00010824 ſeines Volumens. Despretz ſuchte die Dichtigkeit des Waſſers zwiſchen 4° und 100° durch die Beobachtung

thermometerartiger Apparate zu beſtimmen. Seine Angaben möchten wohl die genaueſten unter allen ſeyn. Er machte 19 Beobachtungen zwiſchen 4° und 100° und entwarf danach mittelſt graphiſcher Interpolation die folgende Tabelle.

Wahre Volumina des Waſſers nach Despretz.

Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.
4°C.	1,0000000	29°C.	1,00403	53°C.	1,01345	77°C.	1,02694
5	1,0000082	30	1,00433	54	1,01395	78	1,02761
6	1,0000309	31	1,00463	55	1,01445	79	1,02823
7	1,0000708	32	1,00494	56	1,01495	80	1,02885
8	1,0001216	33	1,00525	57	1,01547	81	1,02954
9	1,0001879	34	1,00555	58	1,01597	82	1,03022
10	1,0002684	35	1,00593	59	1,01647	83	1,03090
11	1,0003598	36	1,00624	60	1,01698	84	1,03156
12	1,0004723	37	1,00661	61	1,01752	85	1,03225
13	1,0005862	38	1,00699	62	1,01809	86	1,03293
14	1,0007146	39	1,00734	63	1,01862	87	1,03361
15	1,0008751	40	1,00773	64	1,01913	88	1,03430
16	1,0010215	41	1,00812	65	1,01967	89	1,03500
17	1,0012067	42	1,00853	66	1,02025	90	1,03566
18	1,00139	43	1,00894	67	1,02085	91	1,03639
19	1,00158	44	1,00938	68	1,02144	92	1,03710
20	1,00179	45	1,00985	69	1,02200	93	1,03782
21	1,00200	46	1,01020	70	1,02255	94	1,03852
22	1,00222	47	1,01067	71	1,02315	95	1,03925
23	1,00244	48	1,01109	72	1,02375	96	1,03999
24	1,00271	49	1,01157	73	1,02440	97	1,04077
25	1,00293	50	1,01205	74	1,02509	98	1,04153
26	1,00321	51	1,01248	75	1,02562	99	1,04228
27	1,00345	52	1,01297	76	1,02631	100	1,04315
28	1,00374						

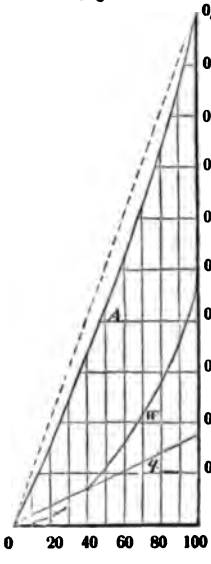
Wenn man die Dichtigkeit des Waſſers bei 4° gleich 1 ſetzt, ſo erhält man nach dieſer Tabelle die Dichtigkeit des Waſſers für jede andere Temperatur, wenn man das dieſer Temperatur entſprechende Volumen in 1 dividirt.

Das Phänomen des Dichtigkeitsmaximums ſcheint, als eine zufällige Ausnahme der allgemeinen Ausdehnungsgeſetze, nicht von beſonderer Wichtigkeit zu ſeyn, wir werden jedoch weiter unten ſehen, welch eine wichtige Rolle es in dem Haushalte der Natur ſpielt. Nur in Folge dieſer Ei-

genſchaft können in höheren Breiten Flüſſe und Seen in einer gewiſſen Tiefe ſtets flüſſig bleiben, nur dadurch iſt es möglich, daß die lebenden Geſchöpfe, welche die Gewäſſer bevölkern, in allen Jahreszeiten aushalten können.

Die Fig. 305 dient dazu, den Gang der Ausdehnung von Queckſilber, Waſſer und Weingeiſt anſchaulich zu machen und unter einander zu vergleichen. Die unterſte Curve ſtellt das Ausdehnungsgeſetz des Queckſilbers dar, ſie iſt eine gerade Linie, weil dieſe Flüſſigkeit ſich zwiſchen 0° und 100° gleichförmig ausdehnt. Das Waſſer dehnt ſich zwiſchen dieſen Temperaturgrenzen ſtärker aus, und zwar um 0,045 ſeines Volumens bei 0°, allein die Ausdehnung iſt nicht gleichförmig. Die mittlere Curve ſtellt das Ausdehnungsgeſetz des Waſſers dar, ſie zeigt anfangs eine Contraction, bei 8° iſt die Dichtigkeit des Waſſers wieder ſo groß wie bei 0°, bei wachſender Temperatur dehnt ſich aber das Waſſer in einem immer wachſenden Verhältniſſe aus, wie man aus der Curve leicht erſieht. Die oberſte Curve ſtellt die Ausdehnung des Weingeiſtes dar; dieſe Curve bildet anfangs eine gerade Linie, denn der Weingeiſt dehnt ſich bis 50° gleichförmig aus, von da an aber in wachſendem Verhältniſſe. Aus der Vergleichung der Ordinaten erſieht man, um den wievielten Theil des Volumens bei 0° ſich jene Flüſſigkeiten bei einer beſtimmten Temperaturerhebung ausdehnen.

Fig. 305.



Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 40° C. dehnt ſich Schwefeläther um 0,0639 ſeines Volumens bei 0°, Steinöl um 0,106 bei einer Erwärmung von 0 bis 95°.

121 **Ausdehnung gasförmiger Körper.** Da die Wärme ein Agens iſt, welches die Körper ausdehnt, alſo die Theilchen weiter von einander entfernt, ſo wirkt ſie offenbar der Cohäſionskraft entgegen. Nun aber iſt die Cohäſionskraft bei feſten Körpern am ſtärkſten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird alſo bei feſten Körpern den größten Widerſtand zu überwinden haben; die feſten Körper können alſo dieſem Raiſonnement zufolge durch die Wärme nicht ſo ſtark ausgedehnt werden als flüſſige und gasförmige. Die Erfahrung beſtätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter ſchließen, daß, da die Cohäſionskraft, welche die Theilchen verſchiedener feſter Körper zuſammenhält, nicht gleich iſt, verſchiedene feſte Körper ſich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen ſind die Theilchen der feſten Körper ſchon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen

Temperaturen ſetzt alſo die Cohäſionskraft einer ferneren Ausdehnung auch einen geringeren Widerſtand entgegen; bei hohen Temperaturen wird alſo der Ausdehnungscoëfficient eines und deſſelben feſten Körpers größer ſeyn müſſen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die Erfahrung beſtätigt. Ueberträgt man dieſe Schlüſſe auf Flüſſigkeiten, ſo folgt, daß verſchiedene Flüſſigkeiten verſchiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und daß dieſelbe Flüſſigkeit ſich bei höheren Temperaturen verhältnißmäßig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Queckſilber, Weingeiſt und Waſſer geſehen haben, der Fall iſt.

Bei gasförmigen Körpern iſt die Wirkung der Cohäſionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäſionskraft ſetzt alſo der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniß mehr entgegen. Daraus ergeben ſich mehrere wichtige Folgerungen. Erſtens müſſen gasförmige Körper durch die Wärme bei weitem ſtärker ausgedehnt werden als feſte und flüſſige, was ſchon durch die oberflächlichſten Verſuche beſtätigt wird; zweitens muß aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, ſondern auch für alle Temperaturen dieſelbe ſeyn, d. h. der Ausdehnungscoëfficient iſt derſelbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gaſe dehnen ſich ſtets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Verſuche beſtätigen in der That, daß ſich alle Gasarten faſt in gleichem Verhältniſſe ausdehnen; daß aber die Ausdehnung der Gaſe der Temperaturzunahme proportional iſt, läßt ſich durch Verſuche nicht nachweiſen, weil wir ja kein directes Mittel haben, die Temperatur zu meſſen, und weil wir ja gerade die Ausdehnung ſelbſt zur Temperaturbeſtimmung benutzen.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Verſuch fehlt, ſo dürfen wir dennoch die gleichmäßige Ausdehnung der Luft um ſo mehr als wahr anſehen, als alle übrigen Folgerungen des Raiſonnements, welche uns endlich zu dieſem Schluſſe führten, durch alle Verſuche vollſtändig bewahrheitet ſind.

Man hatte ſich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu beſtimmen; man erhielt ſtets ſtark unter ſich abweichende Reſultate, was darin lag, daß man die angewandte Luft nicht gehörig von Waſſerdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald ſehen werden, die Reſultate weſentlich modificiren. Gay-Luſſac war der Erſte, welcher conſtante Reſultate erhielt. Nach ſeinen Beſtimmungen iſt der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0^0 bis auf 100^0 erwärmt, ſo dehnt ſie ſich um 0,375 oder $\frac{3}{8}$ ihres Volumens aus, vorausgeſetzt, daß der Druck, unter welchem dieſe Luftmaſſe ſteht, ſich nicht verändert.

Gay-Luſſac bediente ſich zu ſeinen Verſuchen einer Glasröhre, welche

ungefähr 30 bis 40^{cm} lang 1 bis 1,5^{mm} Durchmeſſer hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1^{cm} Durchmeſſer angeblaſen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniß des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilſtriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen derſelben genau beſtimmt. Man gelangt dazu, indem man erſt die Kugel und einen Theil der Röhre mit Queckſilber füllt und das Gewicht des Queckſilbers beſtimmt, dann von Neuem Queckſilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältniſſe der gefundenen Gewichte läßt ſich dann auf das Verhältniß der Volumina ſchließen.

Nachdem auf dieſe Weiſe der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen ſind, muß die Kugel mit trockner Luft gefüllt und dafür geſorgt werden, daß alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollſtändig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, daß man Queckſilber in der Röhre ſieden läßt, gerade ſo, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Iſt ſo die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel ſammt der Röhre mit Queckſilber angefüllt, ſo befeſtigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stücken von Chlorcalcium gefüllt iſt. Bringt man nun die Röhre in die vertikale Stellung, wie es Fig. 306 zeigt, ſo fließt das Queckſilber aus, und Luft tritt ſtatt deſſen in die Röhre und die Kugel ein, welche vollkommen trocken iſt, weil ſie durch die Chlorcalciumſtücke hat hindurchſtreichen müſſen.

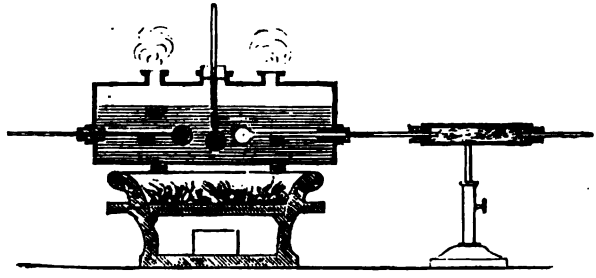
Fig. 306.

Um das Ausfließen des Queckſilbers aus dem etwas engen Rohre zu bewerkſtelligen, ſteckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eiſendraht, den man nur etwas auf- und niederzuſchieben nöthig hat, um das Queckſilber herauszubringen. Wenn man ſo alles Queckſilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Queckſilberſäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es beſteht auf dieſe Weiſe keine Verbindung zwiſchen der Luft, welche in der Kugel abgeſperrt iſt, und der äußern Luft, und die Röhre kann alſo ganz offen bleiben. Bringt man nun dies Inſtrument in eine horizontale Lage, ſo hat man ein Luftthermometer.

Man beobachtet den Theilſtrich der Röhre, bei welchem ſich der Index feſtſtellt, wenn der Apparat in geſtoßenes geſchmolzenes Eis gebracht wird. Da man weiß, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten iſt, ſo iſt durch dieſe Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgeſperrte trockne Luft bei 0° einnimmt. Nun bringt man das Inſtrument in einen Kaſten, Fig. 307, der mit Waſſer gefüllt iſt, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t er-

wärmen kann, und zwar so, daß die Röhre noch aus der Wand des Kastens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Index in den Kasten

Fig. 307.



hineingeschoben, damit alle abgesperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieser Erwärmung dehnt sich die abgesperrte Luft aus, der Index wird weiter von der Kugel fortgetrieben, und man beobachtet, wo er sich bei irgend einer fixen Temperatur feststellt. Dadurch ist das vergrößerte Volumen bekannt.

Sollte sich während des Versuchs der Barometerstand geändert haben, so ist diese Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

Die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes ist auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlaßt wird, ist jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchst unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100° ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases ermittelt, so hat man zu demselben, um diese Vernachlässigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berücksichtigung aller Correctionen fand Gay-Lussac für den Ausdehnungscoëfficienten der trocknen Luft sowohl als aller trocknen Gasarten den schon angeführten Werth 0,375. Bei einer Untersuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängte sich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieser für die Wissenschaft so wichtigen Constanten auf. Er suchte dieselbe nach einer andern Methode zu bestimmen und fand statt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wandte zu seinen Versuchen eine nicht gar lange, mit einer Kugel versehene Thermometerröhre an, welche auf der andern Seite in eine feine Spitze ausgezogen war. Der Durchmesser der Kugel beträgt etwa 2,5 Centimeter. Sie wird dadurch mit trockner Luft gefüllt, daß man die Spitze der Röhre mittelst eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre steckt und sie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein Theil

der in der Kugel enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, iſt vollkommen trocken, weil ſie ja erſt zwiſchen den Chlorcalciumſtücken hindurchſtreichen mußte. Dieſe Operation wiederholte Rudberg etwa 50mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieſer Austrocknungsmethode wandte er auch folgende an: Der Apparat mit dem Chlorcalciumrohre wurde mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt und dann wieder in die Kugel eingelaſſen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium ſtreichen mußte. Auch dieſe Operation wurde gegen 50mal wiederholt. Die Reſultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewandt worden ſeyn.

Nachdem die Luft in der Kugel vollſtändig getrocknet war, wurde ſie in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäß von der Art, wie das Seite 290 beſchriebene, welches man anwandte, um den Siedepunkt des Thermometers zu beſtimmen. Nur die Spitze der Röhre ragt oben aus dem Apparate hervor, ſo daß die ganze Kugel und faſt die ganze Röhre von den aus dem ſiedenden Waſſer aufſteigenden Dämpfen umgeben war. Nachdem man das Sieden des Waſſers faſt eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man ſicher ſeyn, daß die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des ſiedenden Waſſers angenommen hatte, und nun wurde die Spitze der Röhre zugeſchmolzen.

Nachdem die Kugel erkaltet war, wurde ſie auf einen durch ein beſonderen Träger gehaltenes Metallſchälchen gebracht. Dieſes Schälchen hatte ungefähr die Größe und Geſtalt eines Uhrglaſes; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die Röhre hindurchgeſteckt wird, ſo daß die zugeſchmolzene Spitze nach Unten gerichtet iſt und die Kugel auf dem Schälchen ruht. Läßt man die Spitze in ein Gefäß mit Queckſilber eintauchen, ſo wird, wenn man ſie abbricht, das Queckſilber durch die Röhre in die Kugel eindringen und einen Theil derſelben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur die Kugel ganz ausfüllte, jetzt einen kleineren Raum einnimmt. Die noch in der Kugel enthaltene Luft muß aber auf 0° erkaltet werden, und dies geſchieht dadurch, daß man ſchmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maße, als der Schnee wegſchmilzt, muß neuer nachgebracht werden. War die Kugel lange genug mit dem ſchmelzenden Schnee in Berührung, ſo daß man überzeugt ſeyn kann, ſie habe wirklich die Temperatur von 0° angenommen, ſo wird, um das Ausfließen des Queckſilbers aus der Kugel zu verhindern, die Spitze noch unter dem Queckſilber mit etwas Wachs verſtopft, die Kugel auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Queckſilbers beſtimmt (es verſteht ſich, daß man ſchon vorher das Gewicht der leeren Kugel be-

ſtimmt hat). — Wir wollen annehmen, man habe das Gewicht des eingedrungenen Queckſilbers gleich 41,722 Gramm gefunden. —

Dieſes Queckſilber nimmt den Raum ein, um welchen ſich die Luft, welche bei der Siedehitze die Kugel ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0° zuſammenzog. Die Röhre wurde nun am Ende ſo umgebogen, daß ſie in ein Töpfchen mit Queckſilber gebracht werden konnte, durch ſorgfältiges Auskochen der Kugel alle Luft aus derſelben entfernt, ſo daß ſie ſich beim Erkalten ganz mit Queckſilber füllen mußte. Nach dem Erkalten wurde ſie noch mit Schnee umgeben, ſo daß ſie ſich mit Queckſilber von 0° füllen mußte. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht des Queckſilbers beſtimmt, welches bei 0° die ganze Kugel ausfüllt. — Es betrage 173,443 Gramm.

Da nach dem Abbrechen der Spitze 41,722 Gramme Queckſilber eingedrungen waren, während die ganze Kugel 173,443 Gramme Queckſilber hält, ſo iſt klar, daß die noch in der Kugel zurückgebliebene Luft, welche ſie bei 100° ganz ausfüllt, jetzt bei 0° einen Raum einnimmt, welcher ſo groß iſt, daß ein gleiches Volumen Queckſilber 173,443 — 41,722, alſo 131,721 Gramme wiegt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt ſich alſo die Luft im Verhältniß von 131,721 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,34 . . . aus.

Dieſe Zahl iſt offenbar zu klein, und dies rührt daher, daß die nöthigen Correctionen wegen des veränderten Luftdrucks noch anzubringen ſind.

In dem Moment, in welchem die Spitze der Röhre mit Wachs verklebt wurde, war der Barometerſtand 77,58 Centimeter, das Queckſilberniveau in der Kugel ſtand aber 3,81^{cm} über dem Queckſilber im Gefäße, der Druck alſo, welchen die im oberen Theile der Kugel abgeſperrte Luft wirklich auszuhalten hat, iſt gleich 77,58 — 3,81 = 73,77^{cm}. Im Augenblicke wo man die Spitze zuſchmolz, war der Barometerſtand 76,36^{cm}. Wenn nun die Luft nach ihrem Erkalten auf 0° demſelben Drucke ausgeſetzt wäre, ſo würde ſie einen kleineren Raum einnehmen, als der iſt, den ſie wirklich einnimmt, und zwar müßte ſie ſich noch im Verhältniß von 76,36 zu 73,77 zuſammenziehen. Ein gleiches Volumen Queckſilber würde alſo nicht 131,721, ſondern $131{,}721 \frac{7377}{7636} = 127{,}26$ Gramm wiegen. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt ſich alſo die Luft, wenn ſich der Druck nicht ändert, im Verhältniß von 127,25 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,363 aus, der Ausdehnungscoëfficient der Luft wäre demnach 0,363.

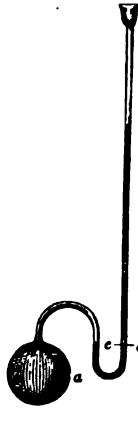
Wir haben jedoch hier nur die ſcheinbare Ausdehnung der Luft beſtimmt, indem die Ausdehnung des Glaſes unberückſichtigt blieb. Um den

wahren Ausdehnungscoëfficienten zu finden, müſſen wir zu dem eben gefundenen noch den Coëfficienten der kubiſchen Ausdehnung des Glaſes hinzuaddiren, welcher, wie wir geſehen haben, 0,0025 iſt. Der wahre Ausdehnungscoëfficient der Luft iſt demnach 0,3655.

Die bei dieſer Berechnung zu Grunde gelegten Data ſind den von Rudberg ſelbſt angeſtellten Beobachtungen entnommen, und zwar ſind es diejenigen, welche den größten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinſte Werth, den er auf dieſe Weiſe gefunden hat, iſt 0,3636 und das Mittel aus ſeinen Verſuchen 0,3646.

Die Wichtigkeit des Gegenſtandes veranlaßte Rudberg, ſpäter noch eine Reihe von Verſuchen anzuſtellen, um den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu beſtimmen, welche auf einem ganz andern Principe beruhen, nämlich darauf, daß, wenn man die Luft an der Ausdehnung hindert, während man ſie erwärmt, der Druck in demſelben Verhältniſſe zunimmt, in welchem ſich außerdem das Volumen vermehrt hätte.

Fig. 308.



Die Kugel a, Fig. 308, ſey mit trockner Luft gefüllt und dieſelbe durch das Queckſilber in der gebogenen Röhre abgeſperrt. Wenn man die Kugel a in ſchmelzenden Schnee gebracht und dadurch die Luft in derſelben auf 0° erkaltet hat, ſo kann man leicht ſo viel Queckſilber noch bei b in die Röhre eingießen, daß es in dem kürzeren Schenkel bis zur Höhe c reicht. Auf dem Brette, auf welchem die Glasröhre befeſtigt iſt, ſey durch c eine horizontale Linie gezogen, und dieſe ſey der Nullpunkt einer Theilung, welche ſich hinter dem längeren Schenkel befindet. Wenn nun die Kugel auf 0° erkaltet iſt und das Queckſilber bei c ſteht, ſo beobachtet man den Barometerſtand b und die Anzahl der Millimeter h, um welche das Queckſilber in dem längeren Schenkel über dem Nullpunkte der Scala ſteht. Der Druck, den die Luft in der Kugel auszuhalten hat, iſt dadurch beſtimmt, er iſt $b + h$.

Nun entfernt man den Schnee und erwärmt die Kugel nach und nach; die Luft dehnt ſich aus, das Queckſilber ſinkt von c herab und ſteigt in den andern Schenkel; um die Luft wieder auf ihr voriges Volumen zu comprimiren, muß man von Neuem Queckſilber bei b eingießen. Geſetzt, man habe die Kugel bis 100° erwärmt und bei b nach und nach ſo viel Queckſilber eingegoſſen, daß es in dem kürzeren Schenkel wieder bei c ſteht; man beobachtet wieder das Barometer, ſeine Höhe ſey b' und die Höhe der Queckſilberſäule, welche im langen Schenkel über dem Nullpunkte der Scala ſteht, ſey h', ſo iſt nun der Druck, welchen die abgeſperrte Luft auszuhalten hat, $b' + h'$.

Bei unverändertem Volumen übt also ein gewisses Luftquantum bei 0^0 einen Druck $b + h$ aus, bei 100^0 aber einen Druck von $b' + h'$. Bei unverändertem Drucke würde sich demnach die Luft im Verhältniß von $b + h$ zu $b' + h'$ ausgedehnt haben.

Es sey z. B. $b = 758^{mm}$, $h = 7^{mm}$, $b' = 757^{mm}$, $h' = 284^{mm}$, so ist der Druck, welchen die Luft bei 0^0 aushält, 765^{mm}, während sie bei unverändertem Volumen bei 100^0 einen Druck von 1042^{mm} aushält; bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 dehnt sich demnach die Luft im Verhältniß von 765 zu 1024, oder von 1 zu 1,362. Der Ausdehnungscoëfficient wäre demnach, wenn man noch die Ausdehnung des Glases berücksichtigt, 0,362 + 0,0025 = 0,3645.

Der eben beschriebene Apparat ist in der That mehr für einen Vorlesungsversuch geeignet, als genaue Resultate zu geben. Zu diesem Zwecke muß er etwas abgeändert werden. Eine Beschreibung des Apparates, wie ihn Rudberg wirklich anwandte, würde uns aber zu weit führen. Nach dieser Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Versuchen 0,36457.

Magnus und Regnault haben gleichfalls den Ausdehnungscoëfficienten der Luft durch eine Reihe sehr genauer Versuche bestimmt. Beide haben ganz unabhängig gearbeitet, keiner wußte, daß der andere gleichzeitig mit derselben Untersuchung beschäftigt sey. Nach der ersten der beiden Rudberg'schen Methoden erhielt Magnus keine constanten Resultate, nach der zweiten aber war der größte Werth, den er für den Coëfficienten fand, 0,367899, der kleinste 0,365032, das Mittel aus allen 0,366508. — Regnault wandte vier verschiedene Methoden an, die beiden Rudberg'schen und zwei andere auf gleichen Principien beruhende. Nach jeder Methode machte er eine große Menge von Versuchen, die ein fast gleiches Resultat gaben. Nach der einen Methode fand er als Mittel 0,36629, nach der zweiten 0,36633, nach der dritten 0,36678, nach der vierten 0,36665. Das Mittel aus diesen vier Werthen ist 0,3665. Die Endresultate von Magnus und Regnault stimmen vollkommen überein, und somit kann wohl kaum mehr ein Zweifel bleiben, daß 0,3665 der wahre Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft ist.

Nimmt man den Werth 0,36666..., welcher von den eben angegebenen Mittel nur um 0,000166 differirt, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft, so kann man ihn durch den sehr einfachen Bruch $^{11}/_{30}$ ausdrücken, welcher in vielen Rechnungen sehr bequem anzuwenden ist.

Regnault hat die Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angestellt, welcher größer und kleiner war als der Druck der Atmosphäre, und fand, daß der Ausdehnungs-

coëfficient mit wachſendem Drucke größer wird; er wächſt von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110^{mm} bis 3655^{mm} ſteigt.

Ebenſo fanden Magnus und Regnault durch die genaueſten Verſuche, daß auch für verſchiedene Gaſe der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich iſt; es fanden

	Regnault.	Magnus.
Waſſerſtoffgas . .	0,36613 . .	0,36556
Kohlenoxydgas . .	0,36688	
Kohlenſäure . . .	0,37099 . .	0,36909
Stickſtoffoxydulgas .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure .	0,39028 . .	0,38562.

Die Verſuche beider Phyſiker thun dar, daß der Ausdehnungscoëfficient derjenigen Gaſe, welche zu Flüſſigkeiten comprimirbar ſind, größer iſt als der der Luft, und zwar um ſo größer, je leichter ſie flüſſig werden.

Somit weiſen dieſe Verſuche nach, daß die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, daß der Ausdehnungscoëfficient für alle Gaſe und unter jedem Drucke gleich ſey, nicht ganz ſtreng wahr iſt. Deshalb aber müſſen die Geſetze, wie Regnault ſehr richtig bemerkt, nicht aus der Wiſſenſchaft verbannt werden; ſie gelten für einen vollkommenen Gaszuſtand, dem ſich die Gaſe, welche uns die Natur liefert, bald mehr, bald weniger nähern, je nachdem ſie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem ſie ausgeſetzt ſind, dem Punkte des Uebergangs in einen anderen Aggregatzuſtand näher oder ferner liegen.

Iſt einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, ſo kann man die Ausdehnung der Luft ſelbſt benutzen, um Temperaturen zu beſtimmen. Ein Luftthermometer läßt ſich nicht füglich wie ein gewöhnliches Queckſilberthermometer einrichten, ſo daß man die Temperatur unmittelbar ableſen kann. Es iſt dies ſchon deshalb nicht möglich, weil der Stand eines graduirten Luftthermometers (eines ſolchen etwa, wie es Gay-Luſſac zur Beſtimmung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte) ſich ſchon ändert, ſobald nur der Barometerſtand variirt, wenn auch die Temperatur dieſelbe geblieben iſt. Die Beſtimmung einer Temperatur mit Hülfe eines Luftthermometers erfordert jederzeit einen beſonderen Verſuch. In der Regel wendet man ein Verfahren an, welches im Weſentlichen mit der erſten der beiden Methoden übereinſtimmt, die Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte, d. h. man wendet ein mit einer feinen Spitze verſehenes und mit trockner Luft gefülltes Reſervoir an, welches man an den Ort bringt, deſſen Temperatur gemeſſen werden ſoll

Man bestimmt die Queckſilbermenge, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß eindringt, alsdann diejenige, welche das ganze Volumen des Gefäßes ausfüllt. Aus dem Verhältniſſe dieſer beiden Queckſilbermengen ergiebt ſich der Temperaturunterſchied. Hier iſt die Temperaturdifferenz geſucht und der Ausdehnungscoëfficient bekannt, während Rudberg bei ſeinen Verſuchen umgekehrt dieſen Coëfficienten ſuchte, aber die Temparaturdifferenz kannte.

Wenn man dieſelbe Temperatur gleichzeitig mit dem Queckſilberthermometer und dem Luftthermometer mißt, ſo erhält man zwiſchen 0° und 100° vollkommen gleiche Angaben; über 100° hinaus aber giebt das Queckſilberthermometer ſtets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, daß ſich das Queckſilber von 0° bis 100° gleichförmig, von 100° an aber in einem ſtärkern Verhältniſſe ausdehnt.

Nach den Verſuchen von Dulong und Petit ſind folgende mit dem Luft- und dem Queckſilberthermometer gemeſſenen Temperaturen identiſch:

Luftthermometer 100, 149, 197, 245, 293, 350
Queckſilberthermometer . 100, 150, 200, 250, 300, 360.

Nach Rudberg ſind folgende die entſprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer 100, 198,8 294,7
Queckſilberthermometer . . . 100, 200, 300.

Nach Magnus:

Luftthermometer 100, 197,5 294,5
Queckſilberthermometer . . . 100, 200, 300.

Nach den ſchon oben angeführten Verſuchen von Regnault gelten die für ein Queckſilberthermometer erhaltenen Reſultate nicht für jedes andere, weil ſie aufhören bei höheren Temperaturen vergleichbar zu ſeyn, wenn ſie aus verſchiedenen Glasſorten gemacht ſind. Bei genauen Verſuchen ſollte man deshalb die Beſtimmung höherer Temperaturen ſtets mit dem Luftthermometer machen, da bei deſſen Angaben, wegen der Größe der Ausdehnung der Luft, die Fehler verſchwinden, welche durch die Unregelmäßigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlaßt werden.

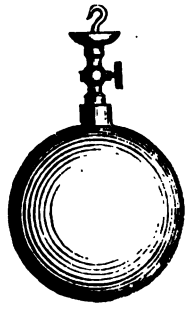
Bei dem, was oben über das ſpecifiſche Gewicht der Körper geſagt 122
wurde, war der Einfluß der Wärme ganz außer Acht gelaſſen worden. Bei feſten und flüſſigen Körpern iſt auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgränzen, zwiſchen welchen man die zur Beſtimmung der Dichtigkeit nöthigen Operationen vornimmt, ſo gering, daß man, wo nicht größere Genauigkeit nöthig iſt, den Wärmeeinfluß ganz vernachläſſigen kann.

Auf die Dichtigkeit der Gaſe aber hat die Wärme einen ſo bedeutenden Einfluß, daß man ohne ihre Berückſichtigung nicht einmal angenähert

richtige Reſultate erhält. Aus dieſem Grunde kann erſt hier von der Beſtimmung der Dichtigkeit der Gaſe die Rede ſeyn.

123 **Dichtigkeit der Luft.** Um die Dichtigkeit der Luft zu beſtimmen, wendet man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Faſſung verſehen iſt, die man auf eine Luftpumpe ſchrauben und in welcher ſich ein Hahn befindet, den man ſchließen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 309). Die Capacität eines ſolchen Ballons findet man am beſten dadurch, daß man genau das Gewicht des Waſſers ausmittelt, welches er faßt. Geſetzt, ein ſolcher Ballon, deſſen Inhalt gerade 10 Liter beträgt, wiege, mit trockner Luft gefüllt, 12,99 Gramm mehr, als wenn er luftleer gemacht iſt, ſo würde daraus folgen, daß das ſpecifiſche Gewicht der Luft 0,001299 iſt, denn 10 Liter Waſſer wiegen ja 10 Kilogr., oder, was daſſelbe iſt, 10000 Gramm.

Fig. 309.



Ein ſolches Reſultat würde der Verſuch jedoch nur dann geben, wenn er bei einer Temperatur von 0° und bei einem Barometerſtande von 760^{mm} angeſtellt worden wäre, und wenn man den Ballon wirklich abſolut luftleer gemacht hätte. Wenn aber dieſe Bedingungen nicht erfüllt ſind, ſo läßt ſich dies Reſultat aus den Beobachtungen ableiten.

Nehmen wir an, ein Ballon von 10 Liter Inhalt wiege bei einer Temperatur von 18° C. und bei einem Barometerſtande von 754^{mm} 12,01 Gr. mehr, als wenn er ſo weit leer gepumpt iſt, daß die Barometerprobe nur noch 5^{mm} zeigt. Da 5 gleich $\frac{66}{1000}$ von 754 iſt, ſo folgt, daß die Dichtigkeit der Luft, welche jetzt noch im Ballon zurückgeblieben iſt, 0,0066 von der Luftmenge iſt, welche den Ballon vor dem Auspumpen anfüllte; von dieſer Luftmenge wurden alſo 0,9934 ausgepumpt, und dieſe ausgepumpte Luft wiegt 12,01 Gramme. Die ausgepumpte Luftmenge aber verhält ſich zu der Menge der geſammten Luft im Ballon offenbar wie 0,9934 zu 1, und daraus ergiebt ſich dann, daß das Gewicht der Luft, welche bei 18° C. und einem Barometerſtande von 754^{mm} den Ballon füllt, 12,09 Gramm wiegt; es waren alſo nach dem Auspumpen noch 0,08 Gramm Luft im Ballon zurückgeblieben.

Wenn bei übrigens unveränderten Umſtänden der Barometerſtand nicht 754, ſondern 760 Millimeter betragen hätte, ſo würde das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft im Verhältniß von 754 zu 760 mehr betragen haben, bei 18° C. und einem Barometerſtande von 760^{mm} wiegt demnach die in unſerm Ballon enthaltene Luft $12{,}09 \frac{760}{754} = 12{,}19$ Gramm.

Nun bleibt nur noch übrig, auf 0^0 zu reduciren, d. h. zu berechnen, wie viel die Luft im Ballon wiegen würde, wenn die Temperatur von 18^0 auf 0^0 fiele. Bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 18^0 dehnt sich die Luft im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366 \cdot 18$, d. h. im Verhältniß von 1 zu 1,0659 aus; bei einer Temperaturerniedrigung von 18^0 bis 0^0 wird also die Luft im Verhältniß von 1 : 1,0659 dichter; wir finden also das Gewicht der Luft, welche den Ballon bei 760^{mm} Barometerstand und einer Temperatur von 0^0 füllt, wenn wir die Zahl 12,19 mit 1,0659 multipliciren; es ergiebt sich bei Ausführung der Rechnung 12,99 für die gesuchte Zahl. Ein Kubikcentimeter Luft wiegt demnach bei 0^0 und 760^{mm} Barometerstand 0,001299 Gramm; unter diesen Umständen ist also die Dichtigkeit der Luft 770mal geringer als die des Wassers.

Ist einmal die Dichtigkeit der Luft für 0^0 bekannt, so kann man sie für jede andere Temperatur berechnen, oder, mit anderen Worten, wenn man weiß, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei 0^0 wiegt, so kann man berechnen, wie viel es bei jeder anderen Temperatur wiegen muß. Wenn der Barometerstand sich nicht ändert, so dehnt sich die Luft für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis t^0 im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366\,t$ aus, ihre Dichtigkeit nimmt also bei dieser Temperaturerhöhung im Verhältniß von $1 + 0{,}00366\,t$ zu 1 ab. Wenn also bei 0^0 ein Kubikcentimeter Luft 0,001299 Gr. wiegt, so wird dasselbe Volumen Luft bei t Grad $\frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00366\,t}$ Gramm wiegen. Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet, welche das Gewicht n von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für einen Barometerstand von 760^{mm} und die von 10 zu 10^0 fortschreitenden Temperaturen von 0^0 bis 290^0 in Milligrammen ausgedrückt enthält.

t	n	t	n	t	n
0	$1{,}299^{mg}$	100	$0{,}953^{mg}$	200	$0{,}751^{mg}$
10	1,253	110	0,927	210	0,735
20	1,211	120	0,903	220	0,720
30	1,171	130	0,881	230	0,706
40	1,134	140	0,860	240	0,692
50	1,099	150	0,839	250	0,680
60	1,066	160	0,820	260	0,667
70	1,035	170	0,802	270	0,654
80	1,006	180	0,784	280	0,642
90	0,978	190	0,767	290	0,631

124 **Dichtigkeit der Gaſe.** Wenn man die Dichtigkeit irgend eines Gaſes bei der Temperatur von 0^0 und einem Drucke von 760^{mm} mit d bezeichnet, mit d' aber die Dichtigkeit deſſelben Gaſes bei einer Temperatur von t^0 und einem Drucke h, ſo iſt es leicht, die Beziehung zu finden, welche zwiſchen den beiden Tenſionen, den beiden Temperaturen und den beiden Dichtigkeiten ſtattfindet. Wenn bei unverändertem Drucke die Temperatur von 0^0 auf t^0 ſteigt, wird 1 Kubikcentimeter Gas ſich bis zu $1 + 0{,}00365\,t$ ausdehnen; wenn aber außerdem noch der Druck von 760^{mm} in h übergeht, ſo wird das Volumen jener Gasmenge

$$\frac{(1 + 0{,}00366\,t)\,760}{h}.$$

Die Dichtigkeit des Gaſes in beiden Fällen verhält ſich aber umgekehrt wie die Volumina, alſo

$$\frac{d'}{d} = \frac{h}{760\,(1 + 0{,}00366\,t)}.$$

Es folgt daraus, daß die Dichtigkeiten zweier verſchiedener Gaſe ſtets in demſelben Verhältniſſe zu einander ſtehen, ſo lange beide gleiche Temperaturen haben und gleichem Drucke ausgeſetzt ſind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze alſo, wie bei 0^0, bei einem Drucke von 10 Atmoſphären wie bei dem einer einzigen, wird die Dichtigkeit des Waſſerſtoffgaſes immer 0,0688, alſo ungefähr $1/15$ von der Dichtigkeit der in gleichen Verhältniſſen ſich befindenden Luft ſeyn. Es bleibt dies ſo lange wahr, als die Gaſe dem Mariotte'ſchen Geſetze folgen.

Dies giebt nun auch ein Mittel an die Hand, um die Dichtigkeit von Gaſen zu beſtimmen; man vergleicht nur ihr Gewicht mit dem Gewicht eines gleichen Volumens Luft von derſelben Tenſion und derſelben Temperatur.

Es ſey z. B. das Gewicht eines Ballons mit trockner Luft = 192 Gramm
Gewicht des ausgepumpten Ballons . . . . . = 181 »
Gewicht der ausgepumpten Luft . . . . . = 11 Gramm.

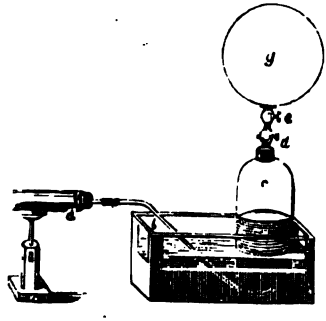
Es ſey ferner das Gewicht des mit kohlenſaurem Gaſe gefüllten Ballons . . . . . = 197,77 Gr.
Davon abgezogen das Gewicht des leeren Ballons . = 181 »
Bleibt für das Gewicht des kohlenſauren Gaſes, welches der Ballon faßt . . . . . = 16,77 Gr.

Die Dichtigkeit des kohlenſauren Gaſes iſt demnach $\frac{16{,}77}{11}$, oder 1,524, wenn die der Luft = 1 iſt. Dies Reſultat bedarf durchaus keiner Correction wegen der Wärme und des Drucks, vorausgeſetzt, daß die Luft

und das kohlenſaure Gas den Ballon bei gleichem Barometerſtande füllten und vollkommen gleiche Temperatur hatten.

Um einen Ballon mit verſchiedenen Gasarten zu füllen, wendet man eine Glocke *c* an, welche oben mit einem Hahne *d*, Fig. 310, verſehen iſt. Die Glocke wird auf Queckſilber geſetzt, der Hahn *d* geöffnet und darüber eine Handluftpumpe aufgeſchraubt, mittelſt welcher man die Glocke luftleer machen kann. Je mehr man evacuirt, deſto mehr ſteigt das Queckſilber in der Glocke; wenn ſie ganz mit Queckſilber gefüllt iſt, wird der Hahn *d* geſchloſſen, die Luftpumpe ab- und ſtatt deren ein evacuirter Ballon *g* aufgeſchraubt.

Fig 310



Man läßt nun das entwickelte Gas durch ein Chlorcalciumrohr *a* und die gebogene Glasröhre *b* in die Glocke *c* treten. Wenn die Glocke *c* mit Gas gefüllt iſt, öffnet man die Hähne *d* und *e*, das Gas verbreitet ſich in den Ballon, zugleich aber ſteigt das Queckſilber in *c* wieder in die Höhe. Sobald es in den oberen Theil von *c* geſtiegen iſt, ſchließt man wieder einen der Hähne, bis ſich die Glocke *c* von Neuem mit Gas gefüllt hat. Später kann man beide Hähne fortwährend offen laſſen. Man fährt mit der Gasentwicklung ſo lange fort, bis die Kugel und die Glocke ganz mit Gas gefüllt ſind und der Queckſilberſpiegel in und außer der Glocke gleich hoch ſteht. Sobald dies der Fall iſt, ſchließt man den Hahn *e* und ſchraubt den Ballon ab, um ihn zu wiegen.

In der folgenden Tabelle findet man die Dichtigkeit der wichtigſten Gasarten nach den beſten Beobachtungen:

Namen der Gaſe.	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. 760mm Druck in Grammen.	Namen der Beobachter.
Jodwaſſerſtoffgas . .	4,4288	5,7719	Gay-Luſſac.
Chlor	2,4216	3,2088	Gay-Luſſac u. Thénard.
Schweflige Säure . .	2,1930	2,8489	H. Davy.
Cyangas	1,8197	2,3467	Gay-Luſſac.
Stickoxydulgas . . .	1,5269	1,9752	Colin.
Kohlenſäure	1,5245	1,9805	Berzelius u. Dulong.
Chlorwaſſerſtoff . . .	1,2474	1,6205	Biot u. Arago.
Schwefelwaſſerſtoff . .	1,1912	1,5475	Gay-Luſſac u. Thénard.
Sauerſtoff	1,1026	1,4323	Berzelius u. Dulong.
Stickoxydgas	1,0388	1,3495	Bérard.
Stickgas	0,9757	1,2675	Berzelius u. Dulong.
Kohlenoxydgas . . .	0,9769	1,2431	Cruikſhank.
Ammoniakgas . . .	0,5967	0,7752	Biot u. Arago.
Waſſerſtoffgas . . .	0,0688	0,0894	Berzelius u. Dulong.

Bei den in der zweiten Columne angegebenen Zahlen iſt die Dichtigkeit der atmoſphäriſchen Luft zur Einheit genommen.

Zweites Kapitel.

Veränderung des Aggregatzuſtandes.

125 **Schmelzen.** Man ſieht leicht, daß das Schmelzen, d. h. der Uebergang eines Körpers aus dem feſten Zuſtande in den flüſſigen, ein durch die Wärme hervorgebrachtes Phänomen iſt, und daß keine andere Kraft in der Natur im Stande iſt, dieſe Wirkung hervorzubringen. Man kann Eis zerbrechen und zu Pulver ſtoßen, man mag darauf alle mechaniſchen und ſonſtigen Kräfte wirken laſſen, es wird nicht in Waſſer verwandelt, wenn nicht die Wärme auf daſſelbe einwirkt. Ebenſo verhält es ſich mit dem Wachs, dem Blei u. ſ. w. Ob alſo ein Körper feſt oder flüſſig iſt, hängt einzig und allein von ſeiner Temperatur ab. In einer andern Entfernung von der Sonne würde die Erde einen ganz andern Anblick darbieten; in größerer Nähe würden die meiſten Metalle beſtändig flüſſig, in größerer Entfernung hingegen würde das Meer eine feſte Maſſe ſeyn, es

gäbe kein fließendes Waſſer und wahrſcheinlich keine Flüſſigkeit mehr, deren Circulation die Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens hervorbringt.

Da die Wärme alle Körper durchdringt und ausdehnt, ſo liegt die Frage nahe, ob ſie auch alle feſten Körper ſchmelzen kann. In dieſer Beziehung aber findet man große Unterſchiede unter den Körpern; einige ſind *leicht ſchmelzbar* und gehen ſchon bei niedrigen Temperaturen in den flüſſigen Zuſtand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. ſ. w.; andere bedürfen zum Schmelzen ſchon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. ſ. w.; endlich giebt es Körper, welche erſt bei ſehr hohen Temperaturen ſchmelzen, wie Gold, Eiſen, Platin. Die Kohle zu ſchmelzen, iſt bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Phyſiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die ſie dem Verſuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. Der Analogie nach muß man ſchließen, daß es keine abſolut unſchmelzbare Körper giebt, daß alle ſchmelzen würden, wenn man nur hinreichend hohe Temperaturen hervorbringen könnte.

Organiſche Körper erleiden unter Einwirkung der Wärme meiſt eine chemiſche Zerſetzung, ehe ſie zum Schmelzen kommen.

Mehrere unorganiſche Körper zerſetzen ſich ebenfalls, bevor ſie ſchmelzen. Hall hat jedoch gezeigt, daß mehrere dieſer Körper gleichwohl geſchmolzen werden können, wenn man ſie während des Erhitzens unter einem ſo ſtarken Drucke erhält, daß die flüchtigen Beſtandtheile nicht entweichen können. Auf dieſe Weiſe hat Hall Marmor und mehrere vulkaniſche Subſtanzen geſchmolzen. Dieſe Reſultate ſind in geologiſcher Beziehung von der höchſten Wichtigkeit.

Bedingungen des Schmelzens. Wenn ein Körper aus dem feſten 126
in den flüſſigen Zuſtand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. *Erſtens* bleibt er feſt bis zu einer beſtimmten *feſten* Temperatur, welche für denſelben Körper unveränderlich iſt, und bei welcher allein die Schmelzung beginnen kann; und *zweitens* ändert ſich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird alſo beim Schmelzen Wärme abſorbirt, welche ſich gleichſam im Körper verſteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte verſchiedener Subſtanzen.

Gehämmertes engliſches Eiſen	1600	Grad
Weiches franzöſiſches Eiſen	1500	»
Der ſtrengflüſſigſte Stahl	1400	»
Der leichtflüſſigſte Stahl	1300	»
Graues Gußeiſen, zweite Schmelzung .	1200	»

Leichtflüſſiges weißes Gußeiſen	1050	Grad
Gold	1250	»
Silber	1000	»
Bronze	900	»
Antimon	432	»
Zink	360	»
Blei	334	»
Wismuth	256	»
Zinn	230	»
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei	194	»
Schwefel	109	»
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100	»
» » » 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94	»
Natrium	90	»
Kalium	58	»
Phosphor	43	»
Stearinſäure	70	»
Weißes Wachs	68	»
Gelbes Wachs	61	»
Stearin	49 bis 43	Grad
Wallrath	49	Grad
Eſſigſäure	45	»
Seife	33	»
Eis	0	»
Terpentinöl	—10	»
Queckſilber	—39	»

127 **Binden der Wärme beim Uebergang aus dem feſten in den flüſſigen Zuſtand.** Im Jahre 1763 hat Black die Abſorption der latenten Wärme beim Schmelzen, eine der wichtigſten Fundamentalthatſachen der Wärmelehre, nachgewieſen. Von dieſem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man ſich am beſten, wenn man 1 Pfund Schnee von 0° und 1 Pfund Waſſer von 79° mit einander miſcht. Der Schnee ſchmilzt, und man erhält 2 Pfund Waſſer von 0°. Alle Wärme alſo, welche in dem heißen Waſſer enthalten war, iſt für das Thermometer ſpurlos verſchwunden, ſie iſt lediglich dazu verwendet worden, um Schnee von 0° in Waſſer von 0° zu verwandeln.

Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche nöthig iſt, um die Temperatur von einem Kilogramm Waſſer um 1° zu erhöhen, mit 1, ſo iſt alſo die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von einem Kilogramm Schnee oder Eis gebunden wird, gleich 79.

Damit der Verſuch ein richtiges Reſultat liefere, muß er mit einiger Vorſicht angeſtellt werden; vor allen Dingen muß die Miſchung raſch vor ſich gehen, und man muß ſie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0° oder doch nur wenig von 0° verſchieden iſt, damit man ſicher ſeyn kann, daß nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees ſchmilzt, oder daß nicht umgekehrt ein Theil der Wärme des Waſſers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisſtücken gelingt der Verſuch nicht, weil ſie dem warmen Waſſer nicht Berührungspunkte genug bieten und weil deshalb die Schmelzung des Eiſes zu langſam vor ſich geht, alſo jedenfalls ein Theil der Wärme des Waſſers an die Umgebung verloren wird.

Nach neueren mit größter Genauigkeit angeſtellten Verſuchen, welche de la Provoſtaye und Deſains über die Schmelzungswärme des Eiſes angeſtellt haben, iſt 79,25 für die bisher nach den calorimetriſchen Verſuchen von Lavoiſier und Laplace angenommene Zahl 75 zu ſetzen.

So wie bei der Schmelzung des Eiſes und des Schnees Wärme gebunden wird, ſo iſt dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes ſind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Beſtimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305.

Die Bedeutung dieſer Zahlen iſt leicht einzuſehen; während ein Kilogramm Schnee zu ſeiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal ſo viel Wärme nöthig hat, als erforderlich iſt, um die Temperatur von einem Kilogramm Waſſer um 1° zu erhöhen, ſind zur Schmelzung von einem Kilogramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Kilogramm Blei, Wachs, Zink u. ſ. w. 90, 97, 274 ſolcher Wärmeeinheiten nöthig.

So wie beim Schmelzen eines feſten Körpers Wärme gebunden wird, ſo findet auch eine Wärmebindung Statt, wenn ein feſter Körper durch Auflöſung in den flüſſigen Zuſtand übergeführt wird; man kann ſich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Waſſer wirft und die Auflöſung durch Umrühren befördert; die Temperatur des Waſſers wird dabei um einige Grade ſinken.

Wenn Schnee oder geſtoßenes Eis etwa von 0° und Kochſalz von

0° gemengt werden, ſo verbinden ſie ſich zu einer flüſſigen Salzlöſung; dabei ſinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüſſigwerden zweier vorher feſter Körper viel Wärme gebunden wird. Auf dieſem Princip beruhen die ſogenannten Kältemiſchungen, die wir alsbald näher betrachten werden.

Gerade ſo, wie in dem eben angeführten Beiſpiele die Miſchung des Salzes mit dem Schnee leichter flüſſig iſt als jeder der Beſtandtheile, ſo ſchmilzt auch kohlenſaures Kali und kohlenſaures Natron zuſammen leichter als jeder dieſer Körper für ſich; eine Legirung von 8 Wismuth, 5 Blei und 3 Zinn (Roſe's Metallgemiſch) hat einen tiefern Schmelzpunkt als jedes dieſer Metalle einzeln genommen. In der Chemie findet man eine Menge Fälle dieſer Art.

Folgende ſind die gewöhnlichſten Kältemiſchungen; die Temperaturerniedrigung, welche man durch ſie hervorbringen kann, iſt bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glauberſalz, mit Salzſäure übergoſſen			von + 10° bis — 17° C.
5	Gewichtstheile	Salmiak	von + 10° bis — 12°
5	»	Salpeter	
19	»	Waſſer	
1	»	Kochſalz	von 0° bis — 17,7°
3	»	Schnee	
3	»	ſalzſaurer Kalk	von 0° bis — 28°
2	»	Schnee	
1	»	verdünnte Schwefelſäure	von — 7° bis — 51°.
1	»	Schnee	

Um mit ſolchen Miſchungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muß man möglichſt große Quantitäten, wenigſtens 2 bis 3 Pfunde der zu miſchenden Subſtanzen anwenden, und muß die Salze fein pulvern, damit die Auflöſung raſch vor ſich gehen kann. Das Gefäß, in welchem man die Miſchung macht, muß von ſchlecht leitenden Subſtanzen umgeben ſeyn, damit nicht von außen her Wärme zugeführt wird.

Um ſehr hohe Kältegrade zu erreichen, muß man die zu miſchenden Subſtanzen ſelbſt vor der Miſchung ſtark erkalten.

Die Temperatur von — 17,7°, die man erhält, wenn man 1 Theil Kochſalz mit 3 Theilen Schnee miſcht, iſt der Nullpunkt des Fahrenheit'ſchen Thermometers.

Statt des oben angegebenen ſalzſauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der ſalzſaure Kalk iſt freilich nichts anderes als Chlorcalcium, welches mit Kryſtallwaſſer verbunden iſt; wollte man waſſerfreies

Chlorcalcium zu einer Kältemiſchung anwenden, ſo würde es erſt ſoviel Waſſer aufnehmen als nöthig iſt, um den ſalzſauren Kalk zu bilden, dabei würde aber Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Miſchung ſehr vermindert wird.

Beim Uebergange der Körper aus dem flüſſigen Zuſtande in den feſten beobachtet man ganz analoge Erſcheinungen wie beim Schmelzen; er findet nämlich erſtens bei einer beſtimmten Temperatur Statt, welche mit dem Schmelzpunkte zuſammenfällt, und zweitens wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Feſtwerden wieder frei.

Eine Erſcheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Feſtwerden flüſſiger Körper beweiſt, iſt folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, daß unter gewiſſen Umſtänden das reine Waſſer bis auf — 10 bis — 12° erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren. Manchmal findet dies ſchon an freier Luft Statt, ſicherer aber kann man dieſe Erſcheinung hervorrufen, wenn man dafür ſorgt, daß das zu erkaltende Waſſer nur einem ſchwachen Luft- oder Dampfdruck ausgeſetzt iſt. Man kann dies dadurch bewirken, daß man in einer Glasröhre, welche oben in eine feine Spitze ausgezogen iſt, Waſſer in's Kochen bringt, und wenn man denkt, daß durch die Dämpfe alle Luft ausgetrieben worden ſey, die feine Spitze zuſchmilzt. Es befindet ſich alsdann über dem Waſſer in dem Glaſe nur noch Waſſerdampf, welcher bei niedrigen Temperaturen nur einen ſehr geringen Druck ausübt. Wenn man ein ſolches Glasrohr einer Temperatur von — 12° ausſetzt, ſo bleibt das Waſſer noch flüſſig, eine Erſchütterung aber macht, daß die ganze Waſſermaſſe plötzlich gefriert. Wenn man nun dafür geſorgt hat, daß ſich im Innern der Glasröhre ein Thermometer befindet, deſſen Kugel in das Waſſer eingetaucht iſt, und an welchem man die niedrige Temperatur von — 12° ableſen kann, ſo beobachtet man, wie dieſes Thermometer in dem Augenblick, wo das Waſſer feſt wird, bis auf 0° ſteigt.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Feſtwerden unter dieſen Umſtänden vor ſich geht, und das Steigen des Thermometers ſind zwei Phänomene, welche ſich leicht erklären laſſen. Die latente Wärme der erſten Theilchen, welche gefrieren, geht auf die benachbarten, noch flüſſigen Theilchen über. Sie werden zwar erwärmt, aber nicht hinreichend, um ihr Erſtarren zu verhindern; daher die doppelte Wirkung des Feſtwerdens und der Erwärmung.

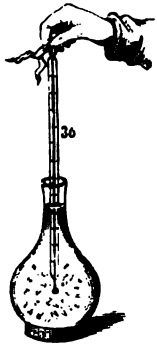
Wenn das Feſtwerden bei der gewöhnlichen Erſtarrungstemperatur vor ſich geht, ſo geſchieht es immer nur langſam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Waſſer bei 0° gefriert, ſo beginnt das Erſtarren in der Regel gleichzeitig an verſchiedenen Punkten, und an dieſen Stellen

geben die zuerſt erſtarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüſſig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannichfaltige Weiſe in der flüſſigen Maſſe gleichſam fortwachſen. Auf dieſe Weiſe zerſtreut ſich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müßte die ganze flüſſige Maſſe, bis zur Erſtarrungstemperatur erkaltet, auf einmal feſt werden.

Auch wenn Waſſer ſich mit irgend einer andern Subſtanz zu einem feſten Körper verbindet, muß Wärme frei werden. Dadurch erklärt ſich die hohe Temperatur, welche entſteht, wenn man gebrannten Kalk mit Waſſer übergießt; das Waſſer verbindet ſich nämlich mit dem kauſtiſchen Kalk zu Kalkhydrat.

Wenn ein Körper aus einer Flüſſigkeit herauskryſtalliſirt, ſo muß alle Wärme frei werden, die bei ſeiner Auflöſung gebunden wurde; meiſtens geht aber die Kryſtalliſation nur langſam vor ſich, ſo daß man hier ebenſo wenig eine Temperaturerhöhung nachweiſen kann, wie bei dem Gefrieren des Waſſers unter den gewöhnlichen Umſtänden; doch läßt ſich die bei dem Kryſtalliſiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren ſichtbar machen. Man löſe 3 Theile Glauberſalz in 2 Theilen Waſſer bei hoher Temperatur auf, gieße dann etwas Oel auf die heiße Auflöſung und laſſe ſie ruhig erkalten. Bei dieſem ruhigen Erkalten kryſtalliſirt das Salz noch nicht aus der Löſung heraus, obgleich ſie gewiſſermaßen für die Temperatur, bis zu welcher ſie ſich abgekühlt hat, überſättigt iſt. Wenn man aber nun die unterdrückte Kryſtalliſation dadurch einleitet, daß man irgend einen feſten Körper in die Löſung bringt, ſo bilden ſich plötzlich eine Menge von Glauberſalz-Kryſtallen, und die Temperatur der Löſung ſteigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Fig. 311.



Die beim Erſtarren frei werdende Wärme läßt ſich ſehr ſchön mit unterſchwefligſaurem Natron in folgender, von Böttger angegebener Weiſe zeigen. — Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 311, welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Waſſer faſſen kann und welches einen etwas weiten Hals hat, mit geſtoßenem kryſtalliſirten unterſchwefligſauren Natron ganz voll. Bei vorſichtigem Erhitzen ſchmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45° R. in ſeinem Kryſtallwaſſer, und bei fortgeſetztem Erwärmen bringt man das geſchmolzene Salz endlich zum Sieden. Iſt dies erreicht, ſo verſchließt man das Kölbchen raſch mit einem guten Kork und ſtellt es behufs der langſamen Abkühlung auf einen ſchlechten Wärmeleiter. Nach 1 bis 2 Stun-

den iſt das Kölbchen ſammt ſeinem Inhalt bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, ohne daß ein Erſtarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erſchütterungen geſchützt hat; wenn man aber nun den Kork vorſichtig wegnimmt und die Kugel eines Thermometers bis unter den Spiegel der Flüſſigkeit eintaucht, ſo geht die Kryſtalliſation durch die ganze Maſſe auf einmal vor ſich und dabei ſteigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Daſſelbe Kölbchen mit geſchmolzenem unterſchwefligſauren Natron läßt ſich immer wieder zu demſelben Verſuche anwenden.

Ein und dieſelbe flüſſige Subſtanz kann beim Feſtwerden ein ganz verſchiedenes Anſehen, ganz verſchiedene Eigenſchaften annehmen. Wenn das Phänomen langſam und ohne Störung vor ſich geht, ſo kryſtalliſirt der Körper in der Regel und nimmt ſeine größte Dichtigkeit an. Wenn dagegen das Erkalten raſch erfolgt, und wenn die Maſſe auf irgend eine Weiſe bewegt wird, ſo haben die Theilchen nicht Zeit ſich regelmäßig zu gruppiren.

Reines Wismuth kryſtalliſirt unter allen Metallen am leichteſten. Man ſchmilzt es in einem Tiegel, gießt es vorher in eine etwas erwärmte Schale und wartet dann, bis ſich auf der Oberfläche eine hinlänglich feſte Kruſte gebildet hat, die nun durchſtochen wird, um das noch flüſſige Metall abzugießen. Auf dieſe Weiſe erhält man mehrere Linien große glänzende und iriſirende würfelförmige Kryſtalle, welche das Innere der Höhlung erfüllen, welche durch die zuerſt erkaltende äußere feſte Kruſte eingeſchloſſen wird.

Durch ein ähnliches Verfahren erhielt Mitſcherlich ½ Zoll dicke Schwefelkryſtalle von der größten Regelmäßigkeit, indem er 50 Pfund Schwefel zuſammenſchmolz. Das Bad wurde allmälig 4 — 5 Stunden lang erkaltet, dann die Kruſte, welche ſich oben gebildet hatte, durchſtoßen, um den noch flüſſigen Schwefel abzugießen.

Rudberg hat intereſſante Beobachtungen über das Feſtwerden geſchmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniß zuſammengeſchmolzen, ein Thermometer hineingeſenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, ſo findet man, daß das Thermometer auf einem gewiſſen Punkte ſtationär bleibt, ohne daß noch das Metall ſichtbar zu erſtarren anfängt, daß es darauf weiter ſinkt und zum zweitenmale ſtationär bleibt, wenn die ganze Maſſe erſtarrt. Rudberg fand, daß dieſer letztere Punkt auf denſelben Thermometergrad fällt, in welchem Verhältniß die Metalle auch gemiſcht ſind, daß aber der andere variirt und bei dem Zuſatz des ſchon vor-

herrſchenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den erſteren Punkt den beſtändigen, den letzteren den veränderlichen.

Den Erſtarrungspunkt des Zinns fand Rudberg bei 228°, den des Bleis bei 325°. Der beſtändige Punkt, wobei eine Legirung beider erſtarrt, iſt 187°; allein für eine Legirung von 3 Aequivalenten Blei und 1 Aequivalent Zinn iſt der erſte am Thermometer ſtationäre, alſo der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zuſetzt, deſto tiefer ſinkt der veränderliche Punkt, er iſt 200° für eine Miſchung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet nur der feſte Erſtarrungspunkt von 187° Statt. Wenn man nun noch mehr Zinn zuſetzt, ſo ſteigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtete Rudberg bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

128 **Dampfbildung.** Wenn eine Flüſſigkeit mit der Luft in Berührung iſt, ſo nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verſchwindet ſie vollſtändig. Das Waſſer, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widerſteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenſcheins, es verſchwindet, nicht allein, weil es in den Boden einſickert, ſondern auch, weil es in der Luft verdunſtet.

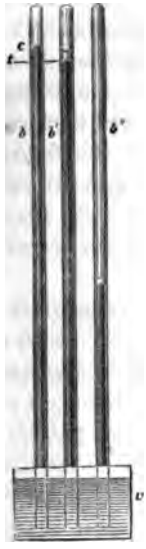
Das Phänomen der Verdunſtung geht raſcher vor ſich, wenn man eine Schale mit Waſſer über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit iſt alles Waſſer verſchwunden, und doch iſt es nicht vom Gefäße verſchluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüſſigkeiten ihren Aggregatzuſtand ändern, daß ſie unſichtbar und expanſibel werden wie die Gaſe. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zuſtand übergegangene Flüſſigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für ſich ſelbſt nicht beſtehen könnten; man glaubte, ſie ſeyen ganz in derſelben Weiſe in der Luft aufgelöſ't wie die Salze im Waſſer; um eine Flüſſigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es eben ſo eines Auflöſungsmittels, der Luft, wie ein Löſungsmittel, etwa Waſſer, nöthig ſey, um die feſten Salze flüſſig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieſer Meinung darzuthun und zugleich die wahren Geſetze der Dampfbildung zu ſtudiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor ſich geht. Dazu eignet ſich nun die toricelliſche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume zu thun hat, ſondern auch weil die Depreſſion der beweglichen Queckſilberſäule ein Mittel bietet, die Expanſivkraft der Dämpfe zu meſſen.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Queckſilber gefüll-

ten Gefäße $v\,v'$ (Fig. 312) drei toricelliſche Röhren neben einander geſtellt, ſo wird in allen das Queckſilber gleich hoch ſtehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Waſſer in die eine Röhre b' bringt, ſo ſteigt es alsbald bis zur toricelliſchen Leere in die Höhe, und augenblicklich ſinkt auch der Gipfel der Queckſilberſäule um einige Millimeter. Dem Gewicht der kleinen Waſſerſchicht, welche jetzt auf dem Queckſilber ſchwimmt, kann man dieſe Depreſſion nicht zuſchreiben; hat man, wie es nöthig iſt, wenn der Verſuch entſcheidend ſeyn ſoll, Waſſer genommen, welches durch Kochen vollſtändig von Luft befreit worden iſt, ſo kann man jene Depreſſion auch nicht der aus dem Waſſer ſich entbindenden Luft zuſchreiben. Aus dem Waſſer müſſen ſich alſo Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gaſe, eine Tenſion haben, denn dieſe Waſſerdämpfe wirken gerade ſo, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufſteigen laſſen.

Fig. 312.



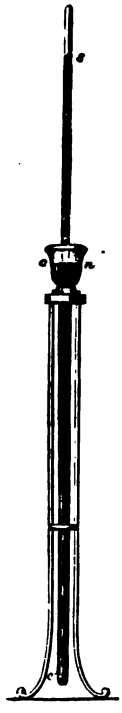
Die Größe der Depreſſion giebt zugleich ein Maaß für die Spannkraft der Waſſerdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Waſſerdämpfe deprimirte Queckſilberkuppe t ſtehe um 15^{mm} tiefer als die Kuppe c des anderen Barometers, über welcher ſich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, ſo iſt klar, daß die Waſſerdämpfe auf der Kuppe t gerade ſo ſtark drücken als eine Queckſilberſäule von 15^{mm} Höhe. Die Depreſſion von 15^{mm} iſt alſo wirklich das Maaß für die Spannkraft des Waſſerdampfs.

Hätte man in das dritte Barometerrohr b'' anſtatt Waſſer eine andere Flüſſigkeit, etwa Schwefeläther, gebracht, ſo würde man eine weit bedeutendere Depreſſion bemerkt haben als beim Waſſer, denn bei einer mittleren Temperatur beträgt die Depreſſion faſt die Hälfte der Höhe des Barometers b; es folgt daraus, daß unter dieſen Umſtänden der Aetherdampf eine Spannkraft hat, welche faſt dem Druck einer halben Atmoſphäre gleich iſt.

Maximum der Spannkraft der Dämpfe. Das Beſtreben der 129
Dämpfe ſich auszudehnen, geht, wie bei den Gaſen bis in's Unendliche, d. h. die kleinſte Menge Dampf breitet ſich in einem leeren Raume, ſo groß er auch ſeyn mag, nach allen Seiten aus und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder großen Druck aus. Die kleinſte Menge Waſſer iſt alſo fähig in Dampfgeſtalt einen Raum von mehreren tauſend Kubikmetern in derſelben Weiſe auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis in's Unendliche gehende Expanſionskraft haben, ſo kann man doch ihre

Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern, wie dies bei Gaſen der Fall iſt. Man mag eine gegebene Luftmenge noch ſo ſtark comprimiren, immer wird nach dem Mariotti'ſchen Geſetze ihre Elaſticität in demſelben Verhältniß zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Wenn man verſucht, Dämpfe zu comprimiren, um dadurch ihre Elaſticität zu vergrößern, ſo gelangt man bald zu einem Punkte, wo ſich der Dampf verdichtet und in den flüſſigen Zuſtand zurückkehrt. Dieſe Gränze des Widerſtandes, bei welcher jede fernere Compreſſion keine Vermehrung der Elaſticität des Dampfs hervorbringt, ſondern ihn flüſſig macht, nennt man das Maximum der Tenſion des Dampfes.

Fig. 313.



Um dieſen charakteriſtiſchen Unterſchied zwiſchen Gaſen und Dämpfen durch den Verſuch nachzuweiſen, bedient man ſich am zweckmäßigſten des ſchon im erſten Bande beſchriebenen Apparates, Fig. 313; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, ſondern etwas Aether. Man füllt zu dieſem Zweck die toricelliſche Röhre ſehr ſorgfältig mit Queckſilber, ſo daß alle Luft möglichſt entfernt iſt, was man am vollſtändigſten durch Auskochen erreicht. Iſt die Röhre ſo bis auf 1 — 2 Centimeter mit Queckſilber gefüllt, ſo gießt man dieſen Raum noch voll Aether, kehrt die Röhre um und taucht ſie in das Gefaß *cn*. Der Aether ſteigt alsbald in die Höhe, ein Theil bleibt flüſſig, ein anderer verdampft im leeren Raum und bewirkt eine bedeutende Depreſſion der Queckſilberſäule. Die Säule *ns* habe z. B. nur noch eine Höhe von 400^{mm}, während ſie 760^{mm} hoch ſeyn würde, wenn oben ein Vacuum wäre, ſo iſt die Spannkraft des Aetherdampfs gleich 360^{mm}. Wenn man nun die toricelliſche Röhre tiefer in die mit Queckſilber gefüllte Röhre *cc'* hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, ſo beobachtet man, daß die Höhe der Queckſilberſäule *ns* ganz unverändert bleibt. Wäre ſtatt des Aetherdampfs Luft im oberen Theile der Röhre geweſen, ſo wiſſen wir, daß, wenn beim Niederdrücken das Volumen der abgeſperrten Luft verkleinert wird, auch ihre Elaſticität zunimmt, ſo daß die Höhe der Queckſilberſäule im Barometerrohr abnimmt. Hier beim Dampf iſt die Sache ganz anders, das Volumen des Aetherdampfs wird vermindert, ohne daß ſeine Elaſticität zunimmt, denn die Höhe der Säule *ns* bleibt ja dieſelbe. Je mehr man aber niederdrückt, deſto mehr nimmt die Menge des flüſſigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen erfüll-

ten Raumes bewirkt alſo, daß ſich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüſſigem Aether condenſirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man alſo den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{4}$ u. ſ. w. comprimirt, ſo wird auch $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. ſ. w. des Dampfes condenſirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, ſo gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet iſt, ſo daß ſich nur noch flüſſiger Aether über der Queckſilberſäule befindet; dieſes völlige Verſchwinden der Dampfblaſe iſt jedoch ſchwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas abſorbirte Luft enthält.

Hebt man die Röhre wieder, ſo behält die Queckſilberſäule immer noch dieſelbe Höhe $n\,s$, während die flüſſige Aetherſchicht fortwährend abnimmt, was beweiſ't, daß ſich ſogleich wieder Dampf bildet, um den vergrößerten Raum auszufüllen und in demſelben das Maximum der Spannkraft zu erreichen. Wenn man aber nur wenig Aether in die Röhre bringt und ſie hinlänglich hebt, daß alle Flüſſigkeit vollſtändig verſchwindet, ſo wird nun bei fernerem Heben auch die Queckſilberſäule ſteigen; der Aetherdampf iſt alſo nicht mehr im Maximum der Spannkraft, es verhält ſich bei fernerer Vergrößerung ſeines Volumens grade ſo wie Gas.

Gleichgewicht der Spannkraft in einem ungleich erwärmten Raume. 130 Man überzeugt ſich leicht, welch bedeutenden Einfluß die Temperatur auf das Maximum der Tenſion der Dämpfe ausübt, denn wenn man die oben erwähnten Verſuche bei verſchiedenen Temperaturen anſtellt, ſo wird die Depreſſion der Barometerſäule ſehr ungleich ausfallen. Bei 0° erhält man z. B. mit Aether nur eine Depreſſion von 180^{mm}, während ſie bei 30 Grad 630^{mm} beträgt. Phänomene, welche wir immer vor Augen haben, geben uns auch hinlängliche Beweiſe von dieſer Wahrheit. Der Waſſerdampf, wie er ſich an der Oberfläche der Flüſſe und Seen bildet, hat nur eine geringe Spannkraft; wenn das Waſſer kocht, iſt die Spannkraft der Dämpfe ſchon ſo groß, daß ſie dem Druck der Atmoſphäre das Gleichgewicht halten kann, und bei noch höheren Temperaturen wächſt dieſe Tenſion dermaßen, daß ſie die furchtbarſten Exploſionen von Dampfkeſſeln bewirkt. Man kann demnach fragen, welches wohl das Maximum der Tenſion des Dampfes in einem Raume ſeyn wird, welcher an verſchiedenen Stellen ungleich erwärmt iſt. Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieſes Raumes der Dampf gleiche Tenſion haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht ſo groß ſeyn kann als an den wärmeren, ſo iſt klar, daß im ganzen Raume die Tenſion der Dämpfe dieſelbe ſeyn muß wie an der kälteſten Stelle, daß alſo an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieſer höheren Temperatur zukommt.

Dies Princip läßt ſich mit Hülfe des Apparates Fig. 314 anſchaulich machen. Wenn die Kugel *a* halb voll Aether gefüllt iſt, bringt man dieſe Flüſſigkeit in's Kochen; hat das Kochen einige Zeit lang fortgedauert, ſo daß man überzeugt ſeyn kann, alle Luft ausgetrieben zu haben, ſo taucht man das unten offene Ende der Röhre *b*, aus welchem der Dampfſtrom entwich, raſch in ein Gefäß mit Queckſilber *c*. Beim Erkalten der Kugel condenſirt ſich ein Theil der Dämpfe, das Queckſilber ſteigt in der Röhre, bis die ganze Kugel zu der Temperatur der umgebenden Luft erkaltet iſt. Von dieſem Moment an ſteigt das Queckſilber nicht mehr; wenn man aber die Kugel noch unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, ſo ſteigt das Queckſilber von neuem, und zwar bis zu derſelben Höhe, als wenn nicht nur die Kugel, ſondern auch die ganze Röhre bis zum Queckſilber ebenſo ſtark erkaltet worden wäre.

Fig. 314.

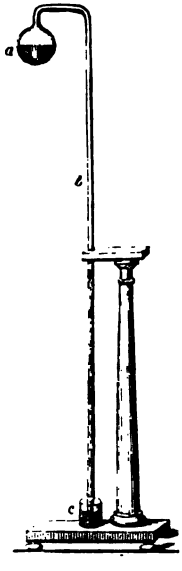


Fig. 315.

131

Meſſung der Spannkraft der Waſſerdämpfe. Um die Spannkraft des Waſſerdampfs zu beſtimmen, hat man verſchiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man ſie für eine Temperatur zwiſchen 0^0 und 100^0, unter 0^0 oder über 100^0 ermitteln will.

Zwiſchen 0^0 und 100^0 wendet man den Fig. 315 abgebildeten Apparat an. Er beſteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in daſſelbe Gefäß eingetaucht ſind; die erſte dieſer Röhren bildet ein vollſtändiges Barometer, in der zweiten befindet ſich über dem Queckſilber etwas Waſſer, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Dieſe beiden Röhren werden mittelſt eines Eiſenſtabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingeſenkt. Dieſes Gefäß iſt ganz mit Waſſer gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwiſchen 0^0 und 100^0 erwärmen kann. Die Temperatur dieſes Waſſers, welches durch zweckmäßig angebrachte Thermometer beſtimmt wird, iſt zugleich die der beiden Barometer und des Waſſerdampfs in dem einen. Um die Elaſticität des Waſſerdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entſpricht, hat man nur zu beſtimmen, in welchem Verhältniß die Depreſſion des Dampfbarometers zur Höhe der Queckſilberſäule im vollſtändigen Barometer ſteht. Wenn dieſe Depreſſion auf 0 reducirt wird, ſo hat man die wahre Spann-

kraft des Wasserdampfs Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm diente, um die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100° zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Queckſilber im Gefäß, eines vollkommen fertigen Gefäßbarometers, Fig. 316, wurde Waſ-

Fig. 316.

ſer gebracht. Das Gefäß war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Waſſer einige Zeit lang gekocht hatte, ſo daß man überzeugt ſeyn konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben, zugeſchmolzen wurde. Ueber dem Waſſer im Gefäß befanden ſich jetzt nur noch Waſſerdämpfe, welche ſich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun dieſe Verdichtung vor ſich ſchritt, deſto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, deſto mehr ſank auch die Queckſilberſäule in der Röhre, deren Höhe urſprünglich dem Barometerſtande gleich war. Die Differenz im Stande des Queckſilberſpiegels in der Röhre und im Gefäß, welche man für eine beſtimmte Temperatur des Gefäßes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Waſſerdampfs für dieſe Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäß in Waſſer von 25°, ſo beobachtet man, daß in dieſem Falle das Queckſilber in der Röhre 23 Millimeter über dem Queckſilberſpiegel im Gefäß ſteht; die Waſſerdämpfe, welche ſich alſo bei 25° bilden, haben eine ſolche Spannkraft, daß ſie eine 23 Millimeter hohe Queckſilberſäule tragen können.

Selbſt unter 0° haben die Waſſerdämpfe noch eine Spannkraft, das Eis verdampft wie das Waſſer. Um die Spannkraft der Dämpfe bei ſo niedrigen Temperaturen zu meſſen, kann man den ſchon erwähnten Apparat Fig. 314 anwenden; nur hat man in die Kugel Waſſer zu bringen und alle Luft durch hinlänglich langes Kochen vollſtändig auszutreiben, bevor man das untere Ende der Röhre in das Queckſilbergefäß taucht. Um die Spannkraft des Waſſerdampfs bei 0° zu erhalten, taucht man nur die Kugel in ein mit geſtoßenem ſchmelzenden Eis oder Schnee gefülltes Gefäß. Das Queckſilber in der Röhre ſteigt, jedoch erreicht die Säule nicht ganz die Höhe des gerade ſtattfindenden Barometerſtandes, man beobachtet noch eine Depreſſion von 5^{mm}.

Um die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen unter 0° zu erhalten, wendet man ſtatt des ſchmelzenden Eiſes Kältemiſchungen an, deren Temperatur immer mit Hülfe eines Thermometers genau beſtimmt werden kann. Nach dem Princip, von welchem in der vorigen Nummer die Rede war, iſt die Spannkraft der Dämpfe in dem ganzen durch die Queck-

ſilberſäule abgeſperrten Raume nicht größer, als ſie am kälteſten Theile der Kugel ſeyn kann. Eine Folge davon iſt auch, daß ein kleines Waſſerſäulchen, welches gewöhnlich auf der Queckſilberſäule ſchwimmt, kleiner und kleiner wird und endlich ganz verſchwindet, weil die Waſſerdämpfe, die ſich hier bilden, raſch zur Kugel übergehen, wo ſie ſich zu Waſſer verdichten.

Wenn es ſich darum handelt, genaue Reſultate zu erhalten, muß die Röhre genau vertikal ſtehen, und die Höhe der Queckſilberſäule mit großer Genauigkeit gemeſſen werden.

Mit dieſem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen beſtimmen, welche niedriger ſind als die der umgebenden Luft.

Um die Spannkraft der Waſſerdämpfe für Temperaturen über 100° zu meſſen, kann man einen Apparat anwenden, welcher ſich von dem Apparat Figur 316 nur dadurch unterſcheidet, daß die längere Röhre oben offen iſt, daß alſo die Atmoſphäre in der Röhre auf das Queckſilber wirken kann. Wenn vor dem Zuſchmelzen des Gefäßes der längere Schenkel offen iſt, ſo ſtellt ſich das Queckſilber in beiden gleich hoch. Man hat nach dem Zuſchmelzen der Spitze über dem Queckſilber im Gefäß nur Waſſer, welches erſt Dämpfe bilden kann, bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft größer iſt als der Druck einer Atmoſphäre. Bringt man das Gefäß in Oel, deſſen Temperatur mehr als 100° beträgt, ſo bilden ſich Waſſerdämpfe, welche auf das Queckſilber im Gefaß drücken und es im langen Rohre ſteigen machen. Die Differenz der Queckſilberſpiegel im Gefäß und der Röhre giebt an, wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer iſt als ein Atmoſphärendruck.

Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu ſchützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Queckſilberſäule meſſen zu können, iſt der Apparat auf einem getheilten Stabe befeſtigt. Wenn die Röhre lang genug iſt, kann man mit dieſer Vorrichtung die Tenſion der Waſſerdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmoſphären meſſen.

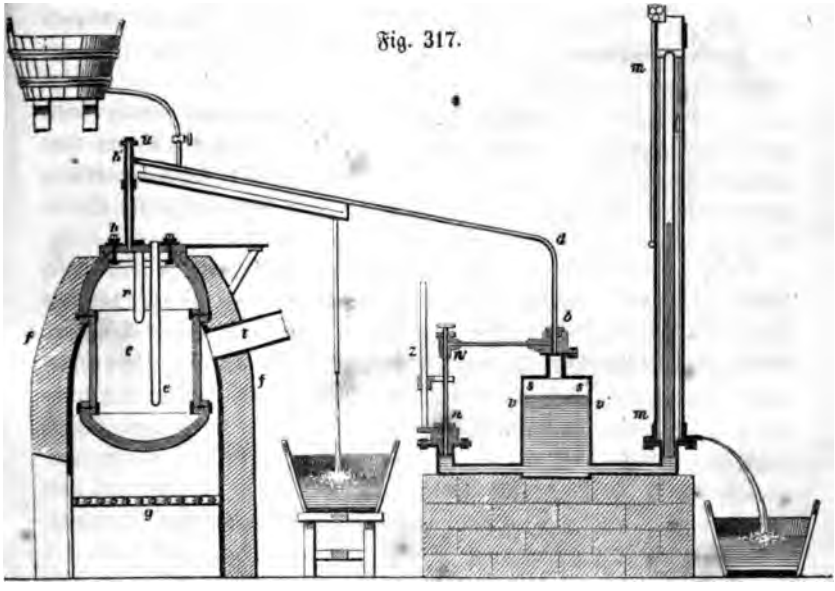
Statt des langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verſchloſſen iſt. Wenn die Waſſerdämpfe im Gefäß das Queckſilber in die Röhre treiben, ſo wird die abgeſperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Compreſſion und der Höhendifferenz der beiden Queckſilberſpiegel die Spannkraft des Waſſerdampfes berechnen.

Wenn die Spannkraft der Dämpfe den Druck mehrerer Atmoſphären überſteigt, hat man ſehr große Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wiſſenſchaft beſaß über dieſen Punkt nur unzuverläſſige Thatſachen, als

Arago und Dulong von der franzöſiſchen Academie der Wiſſenſchaften beauftragt wurden, die Elaſticität der Waſſerdämpfe bis zum höchſten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei induſtriellen Anwendungen vorkommen kann. Dieſe große Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Beſtätigung des Mariotti'ſchen Geſetzes bis zu einem Druck von 27 Atmoſphären war nur eine Vorarbeit zu dieſer wichtigen Unterſuchung

Der Apparat, deſſen ſie ſich bedienten, iſt Fig. 317 abgebildet. Der Dampf wurde in einem ſtarken Dampfkeſſel *c* von Eiſenblech erzeugt,

Fig. 317.

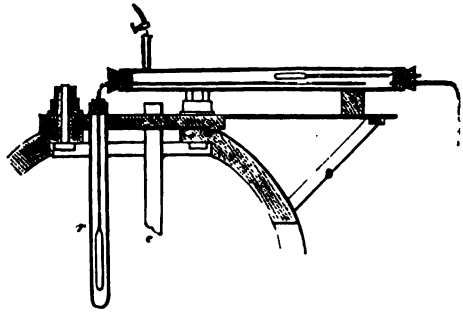


welcher ungefähr ein Volumen von 80 Litern hatte. Am cylindriſchen Theile, welcher der ſchwächſte war, hatte die Wand eine Dicke von 13^{mm}. Die Figur zeigt noch den Ofen *f*, den Roſt *g* und die Röhre *t*, durch welche der Rauch entweicht.

Hätte man die Thermometer, welche zur Meſſung der Temperaturen dienen ſollten, unmittelbar in den Dampfkeſſel gebracht, ſo wäre zu befürchten geweſen, daß der Druck der Dämpfe das Gefäß der Thermometer comprimirt hätte, und daß in Folge deſſen das Queckſilber in den Thermometerröhren höher geſtiegen wäre, als der Temperaturerhöhung entſpricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei Flintenläufe, *e* und *r*, in den Deckel eingelaſſen, welche oben offen und unten verſchloſſen mit Queckſilber gefüllt waren. Der eine dieſer Läufe ragte bis in das Waſſer des Keſſels herab, der andere nicht

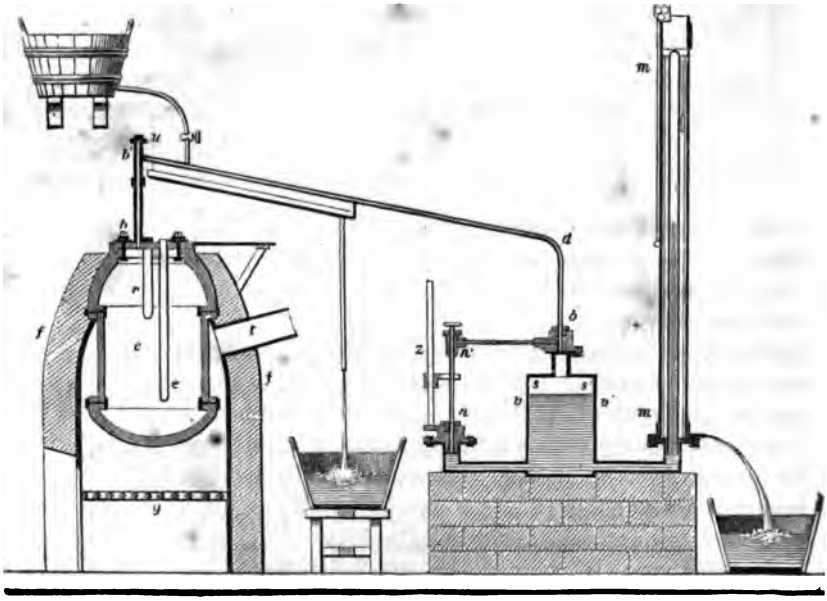
ganz bis auf den Waſſerſpiegel, ſo daß das Queckſilber im einen Laufe die Temperatur des Waſſers, im andern die des Dampfes angab. In jeden Lauf war nun ein Thermometer eingeſenkt, deſſen Röhre oberhalb des Laufes horizontal umgebogen war. Weil das Queckſilber der Thermometerröhre, da wo ſie ſich außerhalb des Queckſilbers befindet, eine geringere Temperatur hat, ſo können Fehler entſtehen, wenn man dieſe Temperaturdifferenz nicht in Rechnung bringt. Um dies möglich zu machen, wird der horizontale Theil der Röhre durch einen Waſſerſtrom auf conſtanter Temperatur erhalten. Dieſe Anordnung iſt deutlicher aus Fig. 318 zu erſehen.

Fig. 318.



Um die Spannkraft der Dämpfe zu meſſen, wurde dieſelbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotti'ſche Geſetz bis auf 27 Atmoſphären zu prüfen. Statt daß aber das Waſſer durch eine Druckpumpe in das gußeiſerne Gefäß $v\,v'$ (Fig. 319) einge-

Fig. 319.



preßt wurde, übt jetzt der Dampf dieſen Druck aus. Aus dem Dampfkeſſel erhebt ſich nämlich eine vertikale Röhre $b\,b'$, in welcher der Dampf aufſteigt und bei u gegen den Gipfel einer Waſſerſäule drückt, welche die geneigte Röhre $u\,d\,b$ und den oberen Theil des Gefäßes $v\,v'$ füllt. Dieſer Druck pflanzt ſich auf die Oberfläche des Queckſilbers in $v\,v'$ fort und bewirkt eine Compreſſion der Luft in der Manometerröhre $m\,m'$. Da man den Druck kennt, welcher jedem Stande des Queckſilbers in der Manometerröhre entſpricht, ſo kann man daraus leicht die Spannkraft des Dampfes ermitteln. Nur ſind noch zwei Correctionen nöthig, eine wegen der vertikalen Höhe der Waſſerſäule von u bis zum Queckſilberſpiegel in $v\,v'$, die andere wegen der veränderlichen Höhe des Queckſilbers in dieſem Gefäße. Um dieſe Höhe genau ermitteln zu können, iſt eine Glasröhre $n\,n'$ mit dem oberen und unteren Theile des Gefäßes $v\,v'$ in Verbindung gebracht und man kann den Stand des Queckſilbers in dieſer Röhre mit Hülfe eines auf dem getheilten Stab z beweglichen Schiebers beobachten.

Damit das Waſſer in dem oberen Theile der Röhre $u\,d$ nicht erwärmt werden kann, wird ſie durch einen beſtändig fließenden Waſſerſtrom auf conſtanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit dieſem Apparate wurden in folgender Weiſe angeſtellt. Nachdem in den Keſſel eine ſolche Menge Waſſer gegoſſen war, daß der Behälter des kleineren Thermometers ſich eben über dem Waſſerſpiegel befand, wurde das Waſſer 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil des Keſſels und die vertikale Röhre $b\,b'$ offen blieb, um alle atmoſphäriſche Luft auszutreiben. Auf den Roſt des Ofens wurde dann eine größere oder kleinere Menge Brennmaterial aufgelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabſichtigte, und nun alle Oeffnungen des Keſſels geſchloſſen. Die beiden Thermometer und die Queckſilberſäule im Manometer begannen nun raſch zu ſteigen, bald aber wurde das Steigen langſamer und erreichte ein Maximum. In dem Moment dieſes Maximums wurde der Stand der Thermometer von dem einen Beobachter, der Stand des Manometers aber von dem andern notirt. Auf dieſe Weiſe wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigſte Temperatur war $123{,}7^0$ und die entſprechende beobachtete Spannkraft des Dampfes war 2,14 Atmoſphären, die höchſte Temperatur war $223{,}15^0$ und die entſprechende Spannkraft 23,994 Atmoſphären.

Zwiſchen dem großen und kleinen Thermometer fanden gewöhnlich kleine Differenzen Statt, jedoch betrug der größte Unterſchied nur $0{,}7^0$; bei den meiſten Beobachtungen war jedoch der Unterſchied weit kleiner. Die Angaben des großen Thermometers wurden als die zuverläſſigeren betrachtet, weil man wohl annehmen kann, daß der in das Waſſer eingetauchte Be-

hälter des großen Thermometers raſcher die Temperatur der Umgebung annimmt als der von dem weit weniger dichten Dampf umgebene.

Um nach den gemachten Beobachtungen die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen zu beſtimmen, welche zwiſchen die beobachteten fallen, muß man eine empiriſche Formel zwiſchen der Spannkraft e und der entſprechenden Temperatur t ſuchen, welche ſich den gemachten Beobachtungen möglichſt gut anſchließt. Nach ſolchen empiriſchen Formeln ſind nun die folgenden Tabellen berechnet.

Erſte Tabelle.

Spannkraft des Waſſerdampfes von — 20° bis 100° C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
—20	1,333	0,0018	25	23,090	0,0314
—15	1,879	0,0026	26	24,452	0,0334
—10	2,631	0,0036	27	25,881	0,0353
— 5	3,660	0,0050	28	27,390	0,0374
0	5,059	0,0069	29	29,045	0,0396
1	5,393	0,0074	30	30,643	0,0418
2	5,748	0,0078	31	32,410	0,0440
3	6,123	0,0084	32	34,261	0,0465
4	6,523	0,0089	33	36,188	0,0492
5	6,947	0,0094	34	38,254	0,0520
6	7,396	0,0101	35	40,404	0,0549
7	7,871	0,0107	36	42,743	0,0581
8	8,375	0,0114	37	45,038	0,0612
9	8,909	0,0122	38	47,759	0,0646
10	9,475	0,0129	39	50,147	0,0681
11	10,074	0,0137	40	52,998	0,0720
12	10,707	0,0146	41	55,772	0,0758
13	11,378	0,0155	42	58,792	0,0799
14	12,087	0,0165	43	61,958	0,08418
15	12,837	0,0170	44	65,627	0,08916
16	13,630	0,0186	45	68,751	0,09340
17	14,468	0,0197	46	72,393	0,09835
18	15,353	0,0209	47	76,205	0,1035
19	16,288	0,0222	48	80,195	0,10900
20	17,314	0,0235	49	84,370	0,11662
21	18,317	0,0250	50	88,743	0,12056
22	19,447	0,0265	51	93,301	0,12676
23	20,577	0,0281	52	98,075	0,13325
24	21,805	0,0297	53	103,060	0,13999

Fortſetzung der erſten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
54	108,070	0,14710	78	323,890	0,44004
55	113,710	0,15449	79	337,760	0,45888
56	119,390	0,16220	80	352,080	0,47834
57	125,310	0,17035	81	367,000	0,49860
58	131,500	0,17866	82	382,380	0,51950
59	137,940	0,18736	83	398,280	0,54110
60	144,660	0,19653	84	414,730	0,56345
61	151,700	0,20610	85	431,710	0,58652
62	158,960	0,21586	86	449,260	0,61036
63	165,560	0,22639	87	467,380	0,63498
64	174,470	0,23758	88	486,090	0,66040
65	182,710	0,24823	89	505,380	0,68661
66	191,270	0,25986	90	525,28	0,71364
67	200,180	0,27196	91	547,80	0,74152
68	209,440	0,28454	92	566,95	0,77026
69	219,060	0,29761	93	588,74	0,79986
70	229,070	0,31121	94	611,18	0,83035
71	239,450	0,32532	95	634,27	0,86172
72	250,230	0,33996	96	658,05	0,89402
73	261,430	0,35518	97	682,59	0,92736
74	273,030	0,37094	98	707,63	0,96138
75	285,070	0,39632	99	733,46	0,99448
76	297,570	0,40428	100	760,00	1,03253
77	310,490	0,42184			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centimeter Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadrat-Centimeter in Kilogr.	Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centimeter Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadrat-Centimeter in Kilogr.
1	100	1,033	4	145,4	4,106
1½	112,2	1,549	4½	149,06	4,648
2	121,4	2,066	5	153,08	5,165
2½	128,8	2,582	5½	156,8	5,681
3	135,1	3,099	6	160,2	6,198
3½	140,6	3,615	6½	163,48	6,714

Fortſetzung der zweiten Tabelle.

Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centimeter Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadrat-Centimeter in Kilogr.	Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centimeter Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadrat-Centimeter in Kilogr.
7	166,5	7,231	19	212,1	19,627
7½	169,37	7,747	20	214,7	20,660
8	172,1	8,264	21	217,2	21,693
9	177,1	9,297	22	219,6	22,726
10	181,6	10,33	23	221,9	23,759
11	186,03	11,363	24	224,2	24,792
12	190,0	12,396	25	226,3	25,825
13	193,7	13,429	30	236,2	30,990
14	197,19	14,462	35	244,85	36,155
15	200,48	15,495	40	252,55	41,320
16	203,60	16 528	45	259,52	46,485
17	206,57	17,561	50	265,89	51,650
18	209,4	18,594			

Dritte Tabelle.

Spannkraft in Atmoſphären ausgedrückt.	Entſprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmoſphären ausgedrückt.	Entſprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
100	311,36	103,3	600	462,71	619,8
200	363,58	206,6	700	478,45	723,1
300	397,65	309,9	800	492,47	826,4
400	423,57	413,2	900	505,16	929,7
500	444,70	516,5	1000	516,76	1033,0

Die erſte dieſer Tabellen iſt nach einer etwas complicirten Formel berechnet, welche nach den von Dalton zwiſchen 0° und 100° gemachten Beobachtungen conſtruirt wurde.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entſpricht bis zu 4 Atmoſphären am beſten eine von Tredgold aufgeſtellte empiriſche Formel

$$log.\ e = \frac{23{,}94571\ t}{800+3t}\ 2{,}2960383,$$

wo e die Spannkraft und t die Temperatur bezeichnet; nach dieſer Formel iſt die zweite Tabelle bis zu 4 Atmoſphären berechnet. Ueber 4 Atmoſphären ſtimmt die Formel

$$e = (1 + 0{,}7153\ t)^5$$

beſſer mit den Verſuchen überein, in welchen t die Temperaturen über 100° bezeichnet, wenn man 100° zur Einheit nimmt; für 136° z. B. hat man zu ſetzen $t = 0{,}36$. Nach dieſer iſt die zweite Tabelle von 4 Atmoſphären an berechnet, ſie geht noch über die Gränzen der Beobachtung, d. h. noch über 24 Atmoſphären hinaus bis zu 50 Atmoſphären. Auch die dritte Tabelle iſt nach dieſer Formel berechnet.

Um die Relation zwiſchen der Temperatur und der Spannkraft des Waſſerdampfes darzuſtellen, ſind ſchon über 30 empiriſche Formeln aufgeſtellt worden, welche ſich bald mehr, bald weniger der Erfahrung anſchließen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt ſich aus folgender Betrachtung.

Die folgende kleine Tafel enthält aus den Verſuchen von Dulong und Arago abgeleitete, nach einer geometriſchen Reihe fortſchreitende Spannkräfte des Waſſerdampfes nebſt den zugehörigen Temperaturen.

Atmoſphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
		21,4
2	121,4	
		24
4	145,4	
		26,7
8	172,1	
		31,5
16	203,6	

Die dritte Columne dieſer Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur ſteigen muß, damit die zugehörige Tenſion der Waſſerdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieſer Columne ſind nun ſehr nahe Glieder einer geometriſchen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender ſind faſt gleich; durch ſehr unbedeutende Correctionen läßt ſich wirklich eine geometriſche Reihe aus ihnen bilden. Nehmen wir die Temperaturen 100°, 145,4°, 203,6°, zu welchen die Spannkräfte 1, 4 und 16 Atmoſphären gehören, als abſolut genau an, ſo iſt es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmoſphären entſprechen, ſo zu berechnen, daß die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometriſche Reihe bilden. Dieſer Bedingung leiſten die

in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmoſphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	145,4	0
8	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen alſo an, daß von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachſen müſſe, um die Spannkraft zu verdoppeln; ſie abermals zu verdoppeln, muß die Temperatur um $21{,}292 \times 1{,}13224$ wachſen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmoſphären zu ſteigern, muß die Temperatur wieder um $21{,}292 \times 1{,}13224^2$ wachſen u. ſ. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Geſetz iſt aus Beobachtungen zwiſchen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es ließ ſich deshalb auch erwarten, daß es innerhalb dieſer Gränzen ſich den Beobachtungen gut anſchließt. Es fragt ſich nun aber, wie die nach dieſem Geſetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinſtimmen. Unſerer Hypotheſe zufolge muß die Spannkraft gleich einer halben Atmoſphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21{,}292}{1{,}13224}$ Grad ſinkt. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21{,}292}{1{,}13224^2}$ Grad muß die Spannkraft auf $\frac{1}{4}$ Atmoſphäre reduciren u. ſ. w. Auf dieſe Weiſe ſind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Tenſion $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ u. ſ. w. Atmoſphäre entſprechen.

Temperatur.	Spannkraft in Atm.	Spannkraft in Millim.	Spannkraft nach Dalton.	Differenz in Millim.
81,19	½	380	370	+ 10
64,58	¼	190	179,4	+ 10,6
49,91	⅛	95	87,3	+ 7,7
36,96	1/16	47,5	44,9	+ 2,6
25,54	1/32	23,75	23,77	— 0,02
15,41	1/64	11,87	13,16	— 1,29
6,48	1/128	5,94	7,62	— 1,68
— 1,4	1/256	2,97	4,59	— 1,62
— 8,36	1/512	1,48	3,04	— 1,56

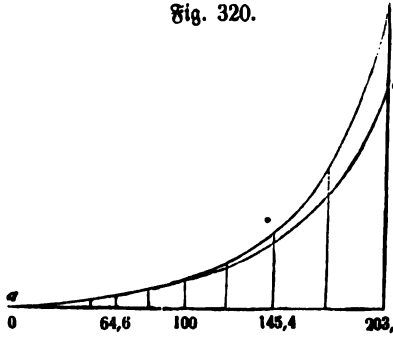
Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß unſere Hypotheſe über 25° größere, unter 25° aber kleinere Werthe giebt als die Dalton'ſche Tafel S. 346, jedoch ſind die Abweichungen noch nicht ſo groß als die Differenzen der Beobachtungen der verſchiedenen Phyſiker. Die Beobachtungen von Arzberger ſtimmen am beſten mit unſerer Rechnung, ſie fallen mit derſelben ſtets auf dieſelbe Seite der Dalton'ſchen, d. h., nach Arzberger iſt die Spannkraft auch unter 25° kleiner, über 25° größer, als ſie Dalton angiebt. Nach Arzberger iſt die Tenſion für 81,19 Grad 383,5mm, was nur um 3,5mm von unſerer Rechnung abweicht. Schmidt hat hier eine noch größere Spannkraft gefunden als Arzberger, unſer Reſultat fällt alſo zwiſchen die verſchiedenen Beobachtungen.

Aus unſerer Hypotheſe ergiebt ſich folgende Formel:

$$\log. e = 5{,}58108. \log. (1 + 0{,}0062108\, t)$$

wo e die Spannkraft, t die Anzahl Grade bezeichnet, um welche die gerade betrachtete Temperatur von 100° abweicht. Für Temperaturen über 100° iſt t poſitiv, unter 100° negativ zu ſetzen.

Fig. 320.



Die Kurve *ab*, Fig. 320, ſtellt das Geſetz der Spannkraft der Waſſerdämpfe dar. Die Temperaturen ſind als Abſciſſen, die Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen.

In neueſter Zeit haben Magnus und Regnault ſehr genaue Verſuche über die Spannkraft der Waſſerdämpfe gemacht. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug ihrer Reſultate:

Temperatur t	Spannkraft des Waſſerdampfes nach	
	Regnault.	Magnus.
— 30° C.	0,365mm	—
— 20	0,841	0,916
0	4,600	4,525
+ 20	17,391	17,396
40	54,906	54,969
60	148,791	148,579
80	354,643	353,926
100	760,000	760,000
110	1068,18	1077,262
120	1475,90	—
130	2006,44	—
140	2685,96	—
150	3543,37	—

Die Reſultate beider Gelehrten ſtimmen, wie man ſieht, ſehr gut mit einander.

Die folgenden Tabellen geben die Reſultate der auf Seite 346 mitgetheilten Tabellen auf anderes Maaß reducirt, weil ſo reducirte Tabellen häufig gewünſcht worden ſind. Die Spannkraft iſt gemeſſen in Pariſer Linien, und dabei angegeben, wie viel Pfund preuß. der Druck des Dampfes auf einen rheinl. Quadratzoll beträgt.

Erſte Tabelle.

Spannkraft des Dampfes von — 20 bis 100° C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.
—20	0,590	0,0263	34	16,957	0,7605
—15	0,832	0,038	35	17,909	0,8029
—10	1,166	0,0526	36	18,947	0,8497
— 5	1,622	0,0731	37	19.964	0,8950
0	2,242	0,1009	38	21,171	0,9064
1	2,390	0,1082	39	22,229	0,9959
2	2,548	0,1140	40	23,477	1,0530
3	2,714	0,1228	41	24,714	1,1086
4	2,891	0,1301	42	26,098	1,1685
5	3,079	0,1374	43	27,465	1,2311
6	3,278	0,1477	44	29,092	1,3040
7	3,489	0,1564	45	30,476	1,3660
8	3,712	0,1667	46	32,091	1.4384
9	3,949	0,1784	47	33,781	1,5137
10	4,200	0,1886	48	35,550	1,5941
11	4,465	0,2003	49	37,400	1,7056
12	4,746	0,2135	50	39,339	1,7632
13	4,929	0,2266	51	41,321	1,8539
14	5,345	0,2443	52	43,475	1,9488
15	5,690	0,2486	53	45,686	2,0474
16	6,042	0,2720	54	47,908	2,1514
17	6,413	0,2881	55	50,407	2,2595
18	6,805	0,3056	56	52,925	2,3723
19	7,220	0,3246	57	55,549	2,4914
20	7,675	0,3437	58	58,293	2,6130
21	8,119	0,3656	59	61,148	2,7402
22	8,620	0,3875	60	64,062	2,8743
23	9,121	0,4109	61	67,232	3,0143
24	9,666	0,4343	62	70,466	3,1570
25	10,235	0,4581	63	73,392	3,3110
26	10,840	0,4884	64	77,341	3,4747
27	11,472	0,5162	65	80,994	3,6305
28	12,153	0.5469	66	84,789	3,8005
29	12,875	0,5791	67	88,739	3,9775
30	13,583	0,6113	68	92,843	4,1615
31	14,367	0,6435	69	97,108	4,3527
32	15,187	0,6801	70	101,545	4,5516
33	16,041	0,7195	71	106,147	4,7579

Fortſetzung der erſten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in par. Linien.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.
72	110,925	4,9721	87	207,187	9,2869
73	115,890	5,1947	88	215,581	9,6587
74	121,023	5,4252	89	224,032	10,0420
75	126,370	5,7964	90	232,854	10,4373
76	131,911	5,9128	91	242,837	10,8451
77	137,956	6,1696	92	251,326	11,2654
78	143,579	6,4358	93	260,986	11,6984
79	149,727	6,7113	94	270,889	12,1443
80	156,075	6,9959	95	281,169	12,6031
81	162,689	7,2923	96	291,710	13,0755
82	169,663	7,5979	97	302,589	13,5631
83	176,556	7,9138	98	313,689	14,0607
84	183,848	8,2407	99	325,139	14,5448
85	191,375	8,5781	100	336,905	15,1013
86	199,155	8,9268			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. = 28 Zoll Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.	Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. = 28 Zoll Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.
1	100	15,108	8	172,1	120,86
1½	112,2	22,654	9	177,1	135,97
2	121,4	30,216	10	181,6	151,08
2½	128,8	37,763	11	186,03	166,19
3	135,1	45,324	12	190,0	181,29
3½	140,6	52,871	13	193,7	196,40
4	145,4	60,432	14	197,19	211,51
4½	149,06	67,979	15	200,48	226,62
5	153,08	75,541	16	203,60	241,73
5½	156,8	83,087	17	206,57	256,83
6	160,2	90,649	18	209,4	271,94
6½	163,48	98,196	19	212,1	287,05
7	166,5	105,75	20	214,7	302,16
7½	169,37	113,30	21	217,2	317,27

Fortſetzung der zweiten Tabelle.

Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. = 28 Zoll Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.	Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. = 28 Zoll Queckſilb.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theiligen Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quadr.-Zoll preußiſch in pr. Pfunden.
22	219,6	332,38	100	311,36	1510,8
23	221,9	347,48	200	363,58	3014,6
24	224,2	362,59	300	397,65	4532,4
25	226,3	377,70	400	423,57	6043,2
30	236,2	453,24	500	444,70	7554,1
35	244,85	528,78	600	462,71	9064,9
40	252,55	604,32	700	478,45	10575,7
45	259,52	679,89	800	492,47	12086,5
50	265,89	755,41	900	505,16	13579,3
			1000	516,76	15108,1

Spannkraft der Dämpfe verſchiedener Flüſſigkeiten. Man 132 ſieht aus den vorhergehenden Tabellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Waſſerdampfs dem Druck der Atmoſphäre das Gleichgewicht hält; dies iſt ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher ſich aus irgend einer kochenden Flüſſigkeit bildet, iſt immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Flüſſigkeit laſtet; denn wenn ſie geringer wäre, ſo könnte der Dampf nicht in Geſtalt von Blaſen im Inneren der Flüſſigkeit beſtehen; und wenn ſie ſtärker wäre, ſo müßte ſich der Dampf ſchon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüſſigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkt die Spannkräfte noch immer gleich ſeyen. Nach dem Dalton'ſchen Geſetze wäre es alſo nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs zu haben und den Siedepunkt einer Flüſſigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. iſt 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfs bei 113°, alſo 35° über dem Siedepunkt, müßte der Spannkraft des Waſſerdampfs bei 135° gleich ſeyn, welche 2280^{mm} oder 3 Atmoſphären iſt. Nach dieſem Geſetze wäre die Spannkraft des geſättigten Alkoholdampfes bei 0° gleich 19^{mm}, weil dies die Spannkraft des Waſſerdampfs bei einer Temperatur iſt, welche 78° unter dem Siedepunkt des Waſſers liegt. Aus den Verſuchen mehrerer Phyſiker geht jedoch hervor, daß dies Geſetz nicht genau iſt. Bei größeren Entfernungen vom Siedepunkt weicht es merklich von der Wahrheit ab, und wenn es

auch als erſte Annäherung einen bequemen Ueberblick erlaubt, ſo muß man es doch verlaſſen, wo Genauigkeit gefordert wird.

Es wäre zu wünſchen, daß man über die Spannkraft der Dämpfe der gewöhnlicheren Flüſſigkeiten wenigſtens eben ſo genaue und vollſtändige Verſuchsreihen hätte als über den Waſſerdampf. Die Reſultate der wenigen hierüber angeſtellten Verſuche ſind in den folgenden Tabellen zuſammengeſtellt.

Die Spannkräfte des Weingeiſtdampfes in der erſten Tabelle ſind nach den beſten Verſuchen von Ure und Schmidt, die Spannkraft des Aetherdampfs nach den Verſuchen von Schmidt und Munke berechnet. Die dritte Columne giebt die Tenſion der Dämpfe von Schwefelkohlenſtoff nach den Verſuchen von Marx.

Temperatur.	Spannkraft der Dämpfe von		
	Weingeiſt.	Schwefelkohlenſtoff.	Schwefeläther.
— 5		90mm	108mm
0	9mm	130	148
+10	18	192	237
20	35	290	378
30	62	423	575
40	111	594	855
50	189	828	1,6 Atm.
60	310	1134	2,3
70	494	—	3,2
80	769	—	4,4
90	1,54Atm.	—	5,9
100	2,37	—	7,8
125	12,56	—	15
250	145,2	—	151

Ueber die Spannkraft einiger condenſirten Gaſe hat Bunſen Verſuche angeſtellt, deren Reſultate in folgender Tabelle enthalten ſind:

Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1480	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25	4200	—	—

Dichtigkeit des Wasserdampfs. Unter allen Mitteln, welche man angewandt hat, um die Dichtigkeit des Wasserdampfs zu bestimmen, scheint das von Gay-Lussac angegebene Verfahren das einfachste und strengste zu seyn; es besteht darin, direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Quantität Dampf zu suchen. Der von ihm angewandte Apparat ist Fig. 321 dargestellt. Auf einem Ofen *f* steht ein gußeisernes Gefäß *c*, welches Queckſilber enthält, *g* iſt eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Queckſilber des Gefäßes *c* eingetaucht iſt. *m* iſt ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüſſigkeit vollgegoſſen wird, ſo daß die Röhre vom Niveau des Queckſilbers in *c* an bis zur Spitze mit dieſer Flüſſigkeit umgeben iſt. Durch das Brett *l*, welches auf dem abgeſchliffenen genau horizontalen Rande des Gefäßes *c* aufliegt, geht ein getheilter Stab *r* vertical hindurch. Bevor die Röhre *g* in das Gefäß *c* eingetaucht wird, muß ſie erſt mit Queckſilber ſo gefüllt werden, daß alle Luft ausgetrieben iſt, daß alſo nach ihrem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Queckſilber des Gefäßes *c* die Röhre *g* noch vollſtändig im Queckſilber gefüllt bleibt, und an der Spitze ſich keine Luftblaſe zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, faſt ganz mit Waſſer gefüllt und dann zugeſchmolzen worden iſt, in der Röhre *g* in die Höhe ſteigen. Wenn man glühende Kohlen in den Ofen bringt, ſo wird alles erwärmt. Das Waſſer in dem zugeſchmolzenen Glaskügelchen dehnt ſich aus und zerſprengt ſeine Hülle. Sogleich bilden ſich Waſſerdämpfe im oberen Theile der Röhre *g*, und das Queckſilber ſinkt. Man ſteigert die Temperatur ſo lange, bis alles Waſſer vollſtändig verdampft iſt, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer conſtanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht. 133

Fig. 321.

1°. Wenn alles Waſſer verdampft iſt, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Waſſer gefüllt gewogen haben; die Differenz dieſer beiden Gewichte iſt das Gewicht des Waſſers, alſo auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im oberen Theile der Röhre *g* ſich befindet.

2°. Man beobachtet die Anzahl der Theilſtriche auf der Röhre, welche der Dampf einnimmt. Da der Raum zwiſchen je zwei Theilſtrichen der Röhre bei der Temperatur von 0° bekannt iſt, ſo kann man leicht mit

Berückſichtigung der Ausdehnung des Glaſes die Capacität zwiſchen zwei Theilſtrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht worden. Auf dieſe Weiſe beſtimmt man das Volumen des Dampfes.

3°. Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüſſigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4°. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man ſchiebt dieſen Stab ſo weit herunter, daß ſein unteres Ende eben den Queckſilberſpiegel im Gefäß *c* berührt, und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Queckſilberkuppe in der Röhre, ſo daß alſo die Queckſilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Queckſilberſäule in der Röhre. Dieſe Höhe auf 0° reducirt und von dem auf 0° reducirten Barometerſtande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um ſicher zu ſeyn, daß alles Waſſer vollſtändig verdampft iſt, muß man ſo weit erwärmen, daß der Dampf für dieſe Temperatur nicht mehr geſättigt iſt, daß alſo die beobachtete Spannkraft geringer iſt, als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt, und kann danach leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter dieſes Dampfes wiegt. Man kann aber nun auch leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei demſelben Drucke und bei derſelben Temperatur wiegt. Iſt nun das Gewicht gleicher Volumina Luft und Waſſerdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke bekannt, ſo kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Waſſerdampfs zur Dichtigkeit der Luft beſtimmen. Nach Gay-Luſſac's Verſuchen iſt die Dichtigkeit des Waſſerdampfs $\frac{5}{8}$ von der der Luft.

Man kann leicht berechnen, welchen Raum 1^{gr} Waſſerdampf bei 100° und einem Druck von 760^{mm} bei dem Maximum des Drucks für dieſe Temperatur einnehmen muß.

Ein Kubikcentimeter Luft von 0° und einem Drucke von 760^{mm} wiegt 0,001299 Gramm. Bei unverändertem Drucke bis zu 100° erwärmt, dehnt ſich die Luft ſo aus, daß aus dem Einen Kubikcentimeter 1,375 Kub.-C. werden. Wenn aber 0,001299^{gr} einen Raum von 1,375 Kub.-C. einnimmt, ſo wird 1^{gr} dieſer Luft einen Raum von $\frac{1,375}{0,001299} = 1058,47$ Kub.-C. einnehmen.

Ein Gramm Waſſerdampf von 100° und 760^{mm} Spannkraft muß aber einen $\frac{8}{5}$mal ſo großen Raum, alſo einen Raum von 1693,55 Kub.-C. einnehmen. Ein Kub.-C. Waſſer nimmt alſo, wenn es bei 100° verdampft,

einen ſehr nahe 1700mal größeren Raum ein, vorausgeſetzt, daß der Dampf ſich im Maximum der Spannkraft befindet.

Aus unſeren Daten kann man aber auch die Dichtigkeit d' des Waſſerdampfs für irgend eine Temperatur t und irgend einen Druck p berechnen; denn wenn man mit d die Dichtigkeit bei 100° und einem Drucke von 760^{mm} bezeichnet, ſo findet man

$$d' = d\,\frac{p}{760}\,\frac{(1+100\alpha)}{(1+\alpha t)}$$

wo α den Ausdehnungscoëffizienten der Luft bezeichnet. Nach dieſer Formel ſind die folgenden Tafeln berechnet, und dabei iſt noch Gay-Luſſac's Coëfficient $\alpha = 0{,}00374$ angenommen. Dieſe Tabellen geben die Dichtigkeit des Waſſerdampfs im Maximum der Spannkraft, wie ſie ſchon in den obigen Tabellen angegeben worden iſt.

Erſte Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Waſſerdampfs im Maximum der Spannkraft, wenn man zur Einheit die Dichtigkeit und das Volumen des flüſſigen Waſſers bei 0° nimmt:

von — 20° bis 100°.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 20	1,333	0,00000154	650588	13	11,378	0,00001157	86426
— 15	1,879	212	470898	14	12,087	1224	81686
— 10	2,631	292	342984	15	12,837	1299	77008
— 5	3,660	398	251358	16	13,630	1372	72913
0	5,059	540	182323	17	14,468	1451	68923
1	5,393	573	174495	18	15,353	1534	65201
2	5,748	609	164332	19	16,288	1622	61654
3	6,123	646	154842	20	17,314	1718	58224
4	6,523	686	145886	21	18,317	1811	55206
5	6,947	727	137488	22	19,417	1914	52260
6	7,396	772	129587	23	20,577	2021	49487
7	7,871	818	122241	24	21,805	2133	46877
8	8,575	867	115305	25	23,090	2252	44411
9	8,909	919	108790	26	24,452	2376	42084
10	9,475	974	102670	27	25,881	2507	39895
11	10,074	0,00001032	99202	28	27,390	2643	37838
12	10,707	1092	91564	29	29,045	2794	35796

Fortſetzung der erſten Tabelle.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
30	30,643	0,00002938	34041	66	191,270	0,00016356	6114
31	32,410	3097	32291	67	200,180	17060	5860
32	34,261	3263	30650	68	209,440	17797	5619
33	36,188	3435	29112	69	219,060	18566	5386
34	38,254	3619	27636	70	229,070	19355	5167
35	40,404	3809	26253	71	239,450	20174	4957
36	42,743	4017	24897	72	250,230	21013	4795
37	45,038	4219	23704	73	261,430	21889	4569
38	47,579	4442	22513	74	273,030	22794	4387
39	50,147	4666	21429	75	285,070	23789	4204
40	52,998	4916	20343	76	297,570	24702	4048
41	55,772	5156	19396	77	310,490	25699	3891
42	58,792	5418	18459	78	323,890	26739	3741
43	61,958	5691	17572	79	337,760	27789	3599
44	65,627	6023	16805	80	352,080	28889	3462
45	68,751	6274	15938	81	367,000	30025	3331
46	72,393	6585	15185	82	382,380	31195	3206
47	76,205	6910	14472	83	398,280	32399	3087
48	80,195	7242	13800	84	414,730	33637	2973
49	84,570	7602	13154	85	431,710	34916	2864
50	88,742	7970	12546	86	449,260	36237	2760
51	93,301	8354	11971	87	467,380	37590	2660
52	98,075	8753	11424	88	486,090	38984	2565
53	103,060	9174	10901	89	505,380	40417	2474
54	108,270	9606	10410	90	525,280	41891	2387
55	113,710	0,00010054	9946	91	545,800	43405	2304
56	119,390	10525	9501	92	566,950	44956	2224
57	125,310	11011	9082	93	588,740	46556	2148
58	131,500	11523	8680	94	611,180	48201	2075
59	137,940	12044	8303	95	634,270	49886	2005
60	144,660	12599	7937	96	658,050	51613	1938
61	151,700	13179	7594	97	682,590	53388	1873
62	158,960	13760	7267	98	707,630	55191	1812
63	166,560	14374	6957	99	733,460	57055	1751
64	174,470	15010	6662	100	760,000	58955	1696
65	182,710	15668	6382				

Zweite Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° gleich 1 gesetzt von 1 bis 50 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
100	1	0,0005895	1696	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1½	0,0008563	1167,8	197,2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0,0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2½	0,0013673	731,39	203,6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3½	0,0018589	537,96	209,4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4½	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5½	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,2	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,5	6½	0,0032683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010968	91,17
169,4	7½	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244,8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,32
190,0	12	0,0056834	175,96				

Dritte Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° zur Einheit genommen von 100 bis 1000 Atmosphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
311,36	100	0,037417	26,726	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068635	14,570	478,45	700	0,20318	4,921
397,65	300	0,097671	10,238	492,47	800	0,2279	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505,16	900	0,2522	3,965
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

Bei der Berechnung dieſer Tafeln wurde ſtillſchweigend angenommen, daß die Dämpfe ſich bis zum Maximum der Spannkraft vollkommen eben ſo verhalten wie die Gaſe und alſo auch gerade ſo dem Mariotte'ſchen Geſetze folgen.

Wenn geſättigter Waſſerdampf von 100°, alſo Waſſerdampf, welcher auf die Gefäßwände einen Druck von 760^{mm} ausübt, nicht mehr mit Waſſer in Berührung iſt, und nun noch ſtärker erwärmt wird, ſo wird, wenn eine Vergrößerung des Volumens nicht erfolgen kann, der Druck gegen die Gefäßwände zunehmen müſſen. Geſetzt, man habe die Temperatur bis auf 121,4° erhöht, ſo wird, wenn ſich der nicht geſättigte Dampf gerade ſo verhält wie Luft, der Druck im Verhältniß von $1 + 100\alpha$ zu $1 + 121{,}4\alpha$ zunehmen, wo α wieder den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bedeutet; der Druck wird alſo ſeyn $760\,\frac{1 + 121{,}4\alpha}{1 + 100\alpha} = 760\,\frac{1{,}455}{1{,}375} = 804^{mm}$.

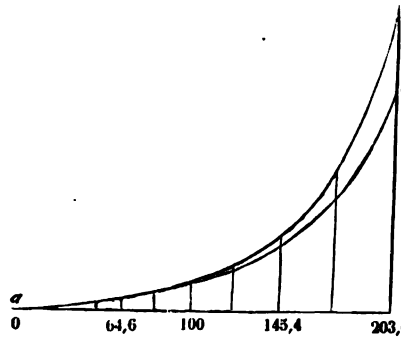
Wenn alſo geſättigter Waſſerdampf von 100°, ohne daß ſich ſeine Dichtigkeit ändert, bis auf 121,4° erwärmt wird, ſo ſteigt die Spannkraft von 760^{mm} bis auf 804^{mm}. Nun aber erſehen wir aus obigen Tabellen, daß der geſättigte Dampf von 121,4° einen Druck von 2 Atmoſphären, alſo 1520^{mm} ausübt. Wenn aber der Waſſerdampf, deſſen Dichtigkeit 0,0005895 iſt, bei 121,4° einen Druck von 804^{mm} ausübt, ſo kann man, vorausgeſetzt, daß der Waſſerdampf bis zum Punkte ſeiner Sättigung dem Mariotte'ſchen Geſetze folgt, berechnen, in welchem Verhältniß man den Waſſerdampf comprimiren muß, wenn er bei unveränderter Temperatur von 121,4° ſtatt eines Drucks von 804^{mm} einen Druck von 1520^{mm} ausüben ſoll. Wenn der Druck $\frac{1520}{804}$ mal größer werden ſoll, ſo muß auch die Dichtigkeit $\frac{1520}{804}$ mal ſo groß werden, die Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfs von 121,4° iſt demnach $0{,}0005859\,.\,\frac{1520}{804}$.

Nach derſelben Schlußweiſe iſt die Formel Seite 359 conſtruirt. Wenn der geſättigte Waſſerdampf von 100°, deſſen Dichtigkeit d ſeyn mag, auf t° erwärmt wird, ohne daß ſeine Dichtigkeit ſich ändert, ſo wird die Spannkraft gleich $760\,\frac{1 + \alpha . t}{1 + \alpha . 100}$. Wenn aber die Spannkraft nicht dieſe, ſondern p ſeyn ſoll, ſo muß die Dichtigkeit im Verhältniß von $760\,\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha . 100}$ zu p wachſen, die Dichtigkeit muß alſo werden

$$d\,.\,p : 760\,\frac{1 + \alpha t}{1 + 100\alpha} = d\,\frac{p}{760}\,.\,\frac{1 + 100\alpha}{1 + \alpha t}.$$

Wie wir geſehen haben, ſtellt die obere der beiden Kurven in Fig. 322 das Geſetz dar, nach welchem die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs mit der Temperatur ſteigt; eben ſo ſtellt die untere Kurve das Geſetz dar, welches zwiſchen der Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfs und der Temperatur ſtattfindet. Die im Abſciſſenpunkt 100 errichtete Ordinate gehört beiden Kurven gemeinſchaftlich an, für die obere Kurve repräſentirt ſie den Druck einer Atmoſphäre, für die untere die Dichtigkeit 0,0005895. Man ſieht, daß bei wachſender Temperatur die Dichtigkeit minder raſch wächſt als die Spannkraft. Es iſt dies natürlich, weil ja die vermehrte Dichtigkeit nicht die einzige Urſache der vermehrten Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs bei höherer Temperatur iſt.

Fig. 322.



Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 322 ſieht man, wie raſch bei ſteigender Temperatur die Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfs ſteigt; bei fortwährender Temperaturerhöhung muß man alſo zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes faſt ſo groß iſt wie die des Waſſers. Dies iſt auch durch die merkwürdigen Verſuche von Cagniard de La Tour beſtätigt worden. Eine ſehr ſtarke Glasröhre wurde bis zu $^1/_4$ ihres Inhalts mit Waſſer gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeſchmolzen. Wenn nun ſolche Röhren einer immer ſteigenden Temperatur ausgeſetzt wurden, ſo ſchien zuletzt alles Waſſer verſchwunden, die Röhre ſchien leer zu ſeyn. Sobald die Temperatur etwas ſank, erſchien die Flüſſigkeit wieder. Auf dieſe Weiſe könnte man das Waſſer abwechſelnd verſchwinden und wieder erſcheinen machen, wenn man nicht bei der Wiederholung des Verſuchs gefährliche Exploſionen befürchten müßte.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der geſättigte Waſſerdampf einen ungefähr viermal ſo großen Raum ein als im flüſſigen Zuſtande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweiſe Auflöſung ſeiner Elemente ſeine Durchſichtigkeit. Dem zufolge müßte ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfs der des Waſſers ſelbſt gleich ſeyn.

Dichtigkeit der Dämpfe verſchiedener Flüſſigkeiten. Der Apparat, 134
welcher von Gay-Luſſac zur Beſtimmung der Dichtigkeit der Waſſerdämpfe angewendet wurde, iſt auch noch für einige andere Flüſſigkeiten an-

wendbar, er kann jedoch nicht in allen Fällen gebraucht werden. Ein andres Verfahren hat Dumas angegeben, es wird in chemiſchen Laboratorien faſt durchgängig angewandt, um die Dichtigkeit von Dämpfen zu beſtimmen. In einen Ballon, welcher in eine feine Spitze ausgezogen iſt (Fig. 324), bringt man eine hinreichende Menge der zu unterſuchenden Flüſ-

Fig. 323.

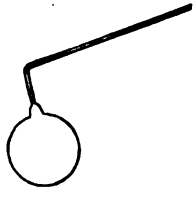


Fig. 324.

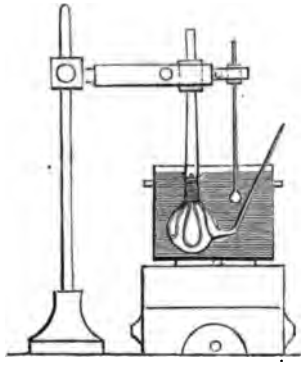


Fig. 325.

ſigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüſſigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Waſſer, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem Fig. 325 abgebildeten Halter befeſtigt und durch dieſen im Bade Fig. 324 feſtgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüſſigkeit bald in's Kochen, die Dämpfe ſtrömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdeſſen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunkts der Flüſſigkeit im Ballon ungefähr um 30° überſteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgeleſen, welches auf die Fig. 325 dargeſtellte Weiſe befeſtigt iſt. Sobald alle Flüſſigkeit verdampft iſt, was man daran ſieht, daß das Ausſtrömen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, ſchmilzt man dieſe vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuſchmelzens notirt man ſich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerſtand.

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher ſchon denſelben, mit trockner Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieſer beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt als die trockene Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieſer Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es iſt nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für die Temperatur und den Barometerſtand bezeichnet, bei welchen die erſte Wägung vorgenommen wurde, V aber in Kub.-Cent. ausgedrückt iſt. Das Gewicht des Dampfes im Ballon iſt demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muß man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tension dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht von 1 Kub.-Cent. trockner Luft für die Temperatur und den Barometerstand, welche man im Augenblicke des Zuschmelzens der Spitze ablas, so ist Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tension, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeschmolzen wurde. Das specifische Gewicht des Dampfes ist demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'}$$

wenn das der Luft gleich 1 gesetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu bestimmen, taucht man die zugeschmolzene Spitze des Ballons in Wasser oder Quecksilber und bricht sie dann ab. Da sich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, so ist im Ballon ein Vacuum entstanden, er wird sich also mit Wasser oder Quecksilber füllen. Die Menge der Flüssigkeit, welche der Ballon faßt, kann man durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren, und somit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeit einiger Dämpfe.

Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760mm in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid	9,200	11,051.	Dumas.
Jod	8,716	10,323	»
Titanchlorid . . .	6,856	8,881	»
Queckſilber	6,976	9,062	»
Arſenikchlorür . . .	6,301	8,185	»
Chlorkieſel	5,939	7,715	»
Jodwaſſerſtoffäther .	5,475	7,112	Gay-Luſſac.
Terpentinöl	5,013	6,512	»
Phosphorchlorür . .	4,875	6,353	Dumas.
Arſenikwaſſerſtoff . .	2,695	3,502	»
Schwefelkohlenſtoff .	2,645	3,436	Gay-Luſſac.
Schwefeläther . . .	2,586	3,395	»
Salzſäureäther . .	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay-Luſſac.
Blauſäure	0,948	1,231	»
Waſſer	0,623	0,810	»

In Beziehung auf die dritte Columne dieſer Tafel iſt noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberſchrift »Gewicht von 1 Liter bei 0^0 und einem Druck von 760^{mm} in Grammen«. Dieſe Ueberſchrift enthält aber einen Widerſpruch, denn da der Siedepunkt aller dieſer Flüſſigkeiten über 0^0 liegt, ſo kann die Spannkraft aller dieſer Dämpfe bei 0^0 gar nicht 760^{mm} betragen. Dieſe Columne iſt aber ſo zu verſtehen, daß ſie das Gewicht von 1 Liter angiebt, *wie es ſeyn würde*, wenn man den geſättigten Dampf von 760^{mm} Spannkraft bei unverändertem Druck auf 0^0 erkalten könnte, ohne daß ein Theil der Dämpfe ſich als Flüſſigkeit ausſcheidet, kurz wenn der Dampf bei dieſer Erkaltung auf 0^0 ſich gerade wie ein permanentes Gas verhielt.

Die Dichtigkeit der geſättigten Dämpfe aller Flüſſigkeiten wächſt mit der Temperatur. Es folgt daraus, daß bei hinlänglich geſteigerter Temperatur eine jede Flüſſigkeit in einem Raume verdampfe, welcher kaum größer iſt als der, welchen die Flüſſigkeit zuvor ſelbſt einnahm. *Cagniard de La Tour* hat in dieſer Beziehung Verſuche mit Weingeiſt, Aether und Schwefelkohlenſtoff gemacht. Der Apparat, deſſen er ſich zu dieſen Verſuchen bediente, iſt der Fig. 326 abgebildete. Der längere Schenkel ſowohl wie der kürzere waren oben zugeſchmolzen. Im längeren befand ſich über dem Queckſilber trockne Luft, im kürzeren die Flüſſigkeit. Der Durchmeſſer des längeren Schenkels betrug nur 1^{mm}, der des kürzeren 5^{mm}. Die Glaswände waren ſehr dick, ſo daß ſie einen ſtarken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche ſich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Queckſilberkuppen und die Compreſſion der Luft im längeren Schenkel beſtimmt. Beim Verſuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad geſenkt.

Fig. 326.

Das völlige Verſchwinden der Flüſſigkeit erfolgte unter folgenden Umſtänden.

	Temperatur des Verſchwindens.	Volumen des Dampfes im Vergleich zu dem der Flüſſigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmoſphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenſtoff . .	275	2	78

Dieſe Verſuche beweiſen unwiderleglich, daß die Dämpfe bei einer ſtarken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'ſchen Geſetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabellen auf S. 360 u. 361 angenommen hatten. Aus der Tabelle auf Seite 365 ſehen wir, daß 1 Liter Aetherdampf bei einer Tenſion von einer Atmoſphäre 3,39 Gramm wiegt. Nach den Verſuchen von Cagniard de La Tour hat der geſättigte Aetherdampf bei 200° eine Tenſion von 37 Atmoſphären; wenn alſo der Aetherdampf ſtets dem Mariotte'ſchen Geſetze folgte, ſo dürfte bei dieſer Temperatur ſeine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache geſtiegen ſeyn; 1 Liter Aetherdampf von einer Spannkraft von 37 Atmoſphären könnte demnach nicht mehr als 37×3,39, alſo nicht mehr als 125 Gramm wiegen. Wir ſehen aber, daß der geſättigte Aetherdampf von 200° halb ſo dicht iſt als der Aether ſelbſt, 1 Liter dieſes Dampfes wiegt alſo 358 Gramm, da 1 Liter Aether 715,5 Gramm wiegt. Die Dichtigkeit iſt alſo faſt dreimal ſo groß, als man hätte erwarten ſollen. Aetherdampf von der bei 200° beobachteten Dichtigkeit müßte nach dem Mariotte'ſchen Geſetze eine Spannkraft von 3 × 37 Atmoſphären haben.

Wenn man auch zugiebt, daß die Verſuche von Cagniard de La Tour nicht ganz genau ſind, ſo ſind doch dieſe Differenzen ſo außerordentlich groß, daß man ſie unmöglich Beobachtungsfehlern zuſchreiben kann.

Condenſation der Dämpfe und Flüſſigmachen der Gaſe. Die 135
Dämpfe verdichten ſich durch Druck und Erkaltung. Nur dann kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne daß er ſich theilweiſe in Flüſſigkeit verwandelt, wenn er nicht geſättigt iſt. Man hat ſchon lange vermuthet, daß die ſogenannten permanenten Gaſe ſich nur dadurch von den Dämpfen unterſcheiden, daß ſie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ſind. Es iſt zuerſt H. Davy und Faraday gelungen, ſolche Gaſe zu condenſiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, deſſen ſie ſich bedienten, beſtand darin, die Gaſe in einer gebogenen ſtarken vollkommen verſchloſſenen Glasröhre zu entwickeln. Dir Gaſe condenſiren ſich dann durch ihren eignen Druck. Ein Beiſpiel wird dies klar machen.

Man fülle in eine ſtarke Glasröhre etwas Cyanqueckſilber, ſchmelze die Röhre zu und biege ſie, wie Fig. 327 zeigt. Wenn man nun das Ende *a* dieſer Röhre, wo ſich das Cyanqueckſilber befindet, mittelſt einer Spiritusflamme vorſichtig erwärmt, ſo bildet ſich Cyangas, wel-

Fig. 327.

ches ſich bei *b* verdichtet, wenn man dieſes Ende der Röhre in eine Kältemiſchung taucht.

Um Schwefelwaſſerſtoffgas zu verdichten, füllt man ein ſtarkes Glasrohr ungefähr bis auf $^1/_3$ ſeines Innhalts mit Waſſerſtoffſchwefel, einer gelblichen ölartigen Flüſſigkeit, und ſchmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüſſigkeit zerſetzt ſich nach und nach von ſelbſt in Schwefel, welcher in ſchönen durchſichtigen Kryſtallen ſich ausſcheidet, und Schwefelwaſſerſtoffgas, welches, weil es nicht entweichen kann, durch ſeinen eigenen Druck condenſirt wird und als eine klare waſſerhelle Flüſſigkeit über den Schwefelkryſtallen ſchwimmt.

Auch ſchweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzſäure, Kohlenſäure, ſalpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüſſig gemacht. Alle anderen Gaſe hat man bisher vergebens zu condenſiren verſucht, es iſt jedoch zu erwarten, daß auch ſie fähig ſind flüſſig zu werden, wenn man es nur dahin bringen kann, eine hinreichende Temperaturerniedrigung und einen hinreichenden Druck zu erzeugen.

Nach den Verſuchen von Thilorier hat der Dampf der flüſſigen Kohlenſäure bei 0° eine Spannkraft von 36, bei 30° aber ſchon eine Spannkraft von 73 Atmoſphären.

Thilorier hat zuerſt einen Apparat conſtruirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlenſäure zu condenſiren; die Anwendung deſſelben iſt aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantieen gegen Exploſionen bietet; und in der That ſind ſchon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'ſchen Apparates entſtanden. Natterer in Wien hat aber nun einen ſehr zweckmäßigen, ganz ſicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlenſäure, welcher in Fig. 328 (auf folgender Seite) abgebildet iſt, conſtruirt; *l* iſt ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchſe dienenden Rohre entſpricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchſe dient, zwei Oeffnungen hat, welche das Innere des Rohrs mit der äußeren Luft verbinden, iſt hier unten nur eine Oeffnung, an welche ſich ein Schlauch *s* anſetzt, der zu einem mit Kohlenſäure gefüllten Gaſometer führt. In unſerer Figur iſt nun dieſer Schlauch, aber nicht das Gaſometer dargeſtellt. Man kann ein Gaſometer von beliebiger Form anwenden. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß zwiſchen das Gaſometer und den Verdichtungsapparat eine Chlorcalciumröhre eingeſchaltet werden muß, damit das Gas von Waſſerdampf befreit wird.

Oben iſt an den Lauf *l* eine ſtarke Flaſche *r* von Schmiedeeiſen aufgeſchraubt, welche den Windbüchſenkolben entſpricht und auch ähnlich eingerichtet iſt; da wo ſie auf die Röhre aufgeſchraubt wird, befindet

ſich nämlich ein Ventil, welches ſich nach innen öffnet und nach außen ſchließt. Der obere Theil dieſer Flaſche, welche auf 150 Atmoſphären Druck geprüft iſt, iſt in Fig. 329 in größerem Maaßſtab dargeſtellt. Oben iſt

Fig. 328.

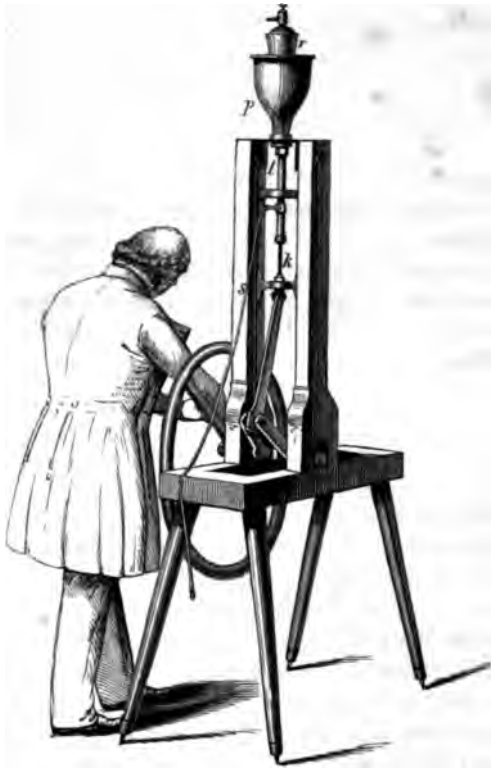


Fig. 329.

ein eiſerner Aufſatz *g* angeſetzt, in welchen eine horizontale meſſingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* iſt in der Mitte durchbohrt, ſo daß, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewiſſen Gränze in die Höhe ſchraubt, das Gas aus der Flaſche durch *g* und das Rohr *n* ausſtrömen kann; wenn aber *t* heruntergeſchraubt wird, ſo iſt die Ausflußöffnung verſchloſſen. Der untere Theil der Flaſche *r* iſt, wie man Fig 328 ſieht, mit einem Kupfergefäß *p* umgeben, welches mit Eisſtücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gaſes in die Flaſche geſchieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenſtange *k* iſt unten an einem meſſingenen Querſtücke befeſtigt, welches in Couliſſen läuft, die auf beiden Seiten am Geſtell angebracht ſind und wodurch die verticale Bewegung der Kolbenſtange geſichert iſt. Die Art der Bewegung und die Fortpflanzung der Bewegung iſt aus der Figur erſichtlich.

Vor dem Beginn des Verſuchs wird das Gewicht des Recipienten beſtimmt. Nachdem er aufgeſchraubt iſt, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht,

worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmoſphäriſchen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geſchloſſen, und nun beginnt eigentlich erſt das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlenſäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation ſo lange fortgeſetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramm beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüſſiger Kohlenſäure gefüllt ſind.

Man kann in dieſem Apparat die Kohlenſäure im flüſſigen Zuſtande nicht ſehen; wie ſie aber in feſte Kohlenſäure verwandelt wird, iſt weiter unten gezeigt.

Auch Stickſtoffoxydulgas läßt ſich in dieſem Apparate verdichten.

Die Ausdehnung der flüſſigen Kohlenſäure bietet eine merkwürdige Erſcheinung dar, ſie iſt nämlich 4mal ſo groß als die der Luft; während ſich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt ſich die flüſſige Kohlenſäure unter gleichen Umſtänden um 0,423 ihres Volumens aus. Es folgt daraus, daß das ſpecifiſche Gewicht der flüſſigen Kohlenſäure bei verſchiedenen Temperaturen ſehr ungleich ſey, es iſt

bei — 20°	0,90
0°	0,83
+ 30°	0,60,

die Dichtigkeit des Waſſers gleich 1 geſetzt.

Um die Verhältniſſe näher zu unterſuchen, bei denen die Condenſation der Gaſe ſtattfindet, iſt wohl kein Apparat geeigneter, als der in Fig. 330 dargeſtellte, welcher, ſo viel ich weiß, von Magnus herrührt.

In einen Glascylinder *c* von ſehr dickem Glaſe, welcher unten mit einem Meſſingfuß verſehen iſt, damit er ſicher ſteht, wird ein Gefäß *a* von Eiſenblech eingeſetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe verſehen iſt, mittelſt deſſen man es aus dem Glascylinder hineinſetzen und wieder herausnehmen kann. Dieſes Gefäß iſt mit Queckſilber gefüllt und in dieſes Queckſilber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite ſchweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen ſind unten offen, die Gaſe alſo durch Queckſilber abgeſperrt.

Wenn dieſes Gefäß mit ſeinen Gasröhrchen in den Cylinder eingeſetzt iſt, ſo wird er ganz mit Waſſer gefüllt und in ſeine obere Meſſingfaſſung der Aufſatz aufgeſchraubt, welchen die Figur zeigt.

Dieſer Aufſatz iſt mit einer Druckpumpe verſehen. Der Hahn *s* iſt in denſelben Richtungen durchbohrt, wie es auf ſeinem Griffe durch Striche angedeutet iſt; ſteht er, wie es die Figur zeigt, ſo iſt alſo das Waſſergefäß *b* durch den Hahn *s* mit der Pumpe in Verbindung; wird nun der

Fig. 330.

Kolben der kleinen Pumpe in die Höhe gezogen, ſo wird Waſſer aus *b* in die Pumpe geſaugt.

Dreht man jetzt den Hahn *s* um eine Viertelumdrehung nach der rechten Seite hin, ſo kommt das Pumpenrohr mit dem Glascylinder *c* in Verbindung, die Verbindung des Gefäßes *b* mit der Pumpe iſt aber abgeſperrt, wenn alſo nun der Pumpenkolben niedergedrückt wird, ſo wird das zuvor aus *b* eingeſaugte Waſſer in den Glascylinder *c*, und dadurch das Queckſilber aus *a* in die Gasröhren gepreßt, in allen dieſen Röhren wird alſo das Gas zuſammengedrückt.

Bringt man, nach der linken drehend, den Hahn wieder in ſeine urſprüngliche Stellung, ſo läßt ſich dieſelbe Operation wiederholen, und ſo kann man die Gaſe mehr und mehr comprimiren.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, iſt graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu meſſen, welchem die Gaſe ausgeſetzt ſind. Iſt die Luft bis auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ ihres urſprünglichen Volumens comprimirt, ſo iſt der Druck, welchem die Gaſe ausgeſetzt ſind, gleich 2, 4, 8 Atmoſphären.

Im Anfang ſteigt das Queckſilber in allen Röhrchen gleichmäßig; die Gaſe verhalten ſich alſo ganz wie die Luft, und dies Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum ſeiner Spannkraft iſt, wenn ein gegebener Raum noch nicht ſo viel Dampf enthält, als bei der beſtehenden Temperatur möglich iſt. Durch fortwährende Compreſſion der genannten Gaſe wird aber bald dieſer Punkt erreicht. Bei einer Temperatur von 15° wird die ſchweflige Säure zu einem geſättigten Dampf, wenn ſie durch einen Druck von

Fig. 331.

nahe zu vier Atmoſphären comprimirt iſt, wenn alſo die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den vierten Theil ihres Volumens einnimmt. Iſt dieſe Gränze erreicht, ſo ſieht man, wie ſich das Innere des Röhrchens, welches die ſchweflige Säure enthält, gleichſam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gaſes ſchon zu Flüſſigkeit verdichtet iſt. Pumpt man nun noch weiter fort, ſo wird die ſchweflige Säure alsbald vollſtändig in eine waſſerhelle Flüſſigkeit verwandelt.

Dieſelben Erſcheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condenſation erſt bei einem ſtärkeren Drucke ein.

Anfangs iſt die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, ſobald aber für ein Gas der erwähnte Gränzpunkt erreicht iſt, wird bei fernerem Pumpen ſein Volumen bei weitem raſcher abnehmen, das Queckſilber ſteigt raſch bis oben hin und über demſelben befindet ſich dann nur noch eine Flüſſigkeit.

Hat man die drei Gaſe vollſtändig zu tropfbaren Flüſſigkeiten condenſirt, ſo kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erſcheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine ſolche Stellung, daß der Glascylinder *c* mit dem Waſſergefäß *b* in Verbindung kommt, ſo tritt das vorher eingepumpte Waſſer wieder aus *c* nach *b* zurück, die Gaſe dehnen ſich wieder aus. Man kann nun aber den Hahn allmälig drehen, ſo daß der Druck in *c* nur nach und nach abnimmt, und dabei beobachtet man folgende Erſcheinungen:

Anfangs dehnt ſich nur die Luft aus; in den anderen Röhren ſinkt das Queckſilber noch nicht, bis der Punkt erreicht

iſt, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in dieſem Moment bilden ſich aus der Flüſſigkeit Dämpfe, die das Queckſilber des entſprechenden Röhrchens nun ſo raſch niederdrücken, daß es alsbald den Stand des Queckſilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerſt beim Ammoniak Statt. Schließt man den Hahn in dem Augenblicke wieder, wo ſich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Queckſilber niedergedrückt haben, ſo ſteht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Queckſilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat ſich noch gar kein Gas aus der Flüſſigkeit entwickelt. Läßt der Druck ferner nach, ſo wird ſich zunächſt aus dem flüſſigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüſſigen ſchwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Queckſilber alsbald ſo weit niederdrücken, daß es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das raſche Sinken des Queckſilbers rührt aber daher, daß wenn einmal der Druck ſo weit abgenommen hat, daß er der Spannkraft der bei dieſer Temperatur aus der Flüſſigkeit ſich bildenden Dämpfe gleich iſt, nun auf einmal alle Flüſſigkeit in die Gasform übergeht und das Queckſilber ſehr raſch niederdrückt.

Drittes Kapitel.

Von der Miſchung der Dämpfe mit Gaſen.

Flüſſigkeiten, welche ſich nicht chemiſch mit einander verbinden, können 136
wohl auf einige Augenblicke gemengt ſeyn; bald aber trennen ſie ſich, ſie lagern ſich nach der Ordnung ihrer Dichtigkeit über einander, wie z. B. das Oel auf dem Waſſer ſchwimmt. Wenn ſich die Gaſe und Dämpfe ähnlich verhielten, ſo würde ſich auf unſerer Erdoberfläche Alles ändern müſſen; die Dämpfe z. B., welche ſich auf der Oberfläche der Gewäſſer bilden, würden ihres geringeren ſpecifiſchen Gewichtes wegen aufſteigen und ſo bis zu den äußerſten Gränzen der Atmoſphäre getrieben werden. Bei der immer fortdauernden Verdunſtung würden zuletzt alle Seen und Meere austrocknen, und alles Waſſer der Erde würde als Waſſerdampf über der Atmoſphäre ſchweben.

Man ſieht alſo, daß die gasförmigen Körper bei ihrer Miſchung nicht

denſelben Geſetze folgen können wie die Flüſſigkeiten, daß ſie ſich nämlich nicht nach ihrem ſpecifiſchen Gewichte ſchichten.

Dieſe Fundamentalwahrheit iſt durch einen directen Verſuch außer Zweifel geſetzt worden. Berthollet verband zwei Ballons, von denen der eine mit Waſſerſtoffgas, der andere mit Kohlenſäuregas gefüllt war, durch eine Röhre, die mittelſt eines Hahns geſperrt werden konnte. Nachdem der Apparat ſo aufgeſtellt war, daß der mit dem leichteren Waſſerſtoffgas gefüllte Ballon über dem andern ſtand, wurde der Hahn geöffnet. Nach einiger Zeit hatte ſich die Hälfte des Waſſerſtoffgaſes trotz ſeiner Leichtigkeit in dem unteren Ballon verbreitet, während die Hälfte des Kohlenſäuregaſes in den oberen Ballon hinaufgeſtiegen war.

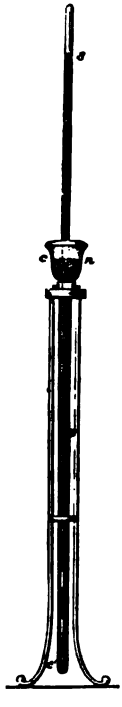
Fig. 332.

Man kann den Verſuch am einfachſten anſtellen, wenn man zwei Glasgefäße, von denen das eine *a* mit Waſſerſtoffgas, das andere *e* mit Kohlenſäure gefüllt iſt, auf dieſe Weiſe verbindet, wie man Fig. 332 ſieht. Nach einiger Zeit findet man die Gaſe auf die angegebene Weiſe gemiſcht. Jedes Gas verbreitet ſich alſo gleichförmig in dem ganzen Raume gerade ſo, als ob das andere gar nicht da wäre.

Was für die Miſchung zweier Gaſe gilt, gilt auch für mehrere. Das allgemeine Princip, nach welchem die Miſchung gasförmiger Körper vor ſich geht, iſt folgendes: Wenn man in einen und denſelben Raum verſchiedene Gaſe bringt, welche keine chemiſche Wirkung auf einander ausüben, ſo verbreitet ſich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum; die Spannkraft des Gasgemenges aber iſt gleich der Summe der Spannkräfte, welches jedes einzelne Gas haben würde, wenn es für ſich allein den ganzen Raum ausfüllte.

137 Dämpfe verhalten ſich in dieſer Beziehung vollkommen ebenſo wie Gaſe; und wenn in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüſſigkeit gebracht wird, ſo bilden ſich in dieſem Raume gerade ebenſo viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft iſt alſo die Summe der Spannkraft des Gaſes und die Spannkraft des geſättigten Dampfes. Ein Beiſpiel mag dies deutlicher machen. Geſetzt, man brächte etwas Waſſer in einen Raum von 1700 Kub.-Cent., der ſchon Luft von 100° und einer Tenſion von 760^{mm} enthält, ſo wird in dieſem Raume 1 Gramm Waſſer verdampfen, alſo gerade ſo viel, als ob der Raum vollkommen luftleer geweſen wäre. Die Spannkraft dieſes Gemenges von Luft und Waſſerdampf aber iſt die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm} und der Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs von 100°, welche ebenſo groß iſt, ſie iſt alſo gleich dem Drucke von zwei Atmoſphären.

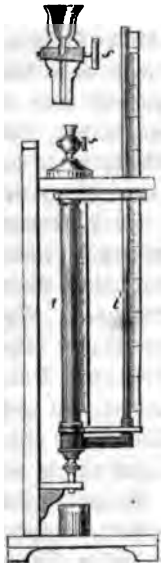
Fig. 333.



Es läßt ſich dies durch den Verſuch auf folgende Art nachweiſen. Man fülle eine toricelliſche Röhre bis auf ein kleines Stück mit Queckſilber, und tauche ſie in das Queckſilber des Gefäßes *cn*. Geſetzt, man habe beim Füllen der Röhre 5^{cm} frei gelaſſen; nachdem man die Röhre umgekehrt und den Finger weggezogen hat, habe ſich die Luft auf einen 5fachen Raum ausgedehnt, ſo daß die Luft im oberen Theile der Röhre eine Länge von 25^{cm} einnimmt, ſo wird ihre Tenſion $\frac{1}{5}$ des Barometerſtandes, alſo 152^{mm} ſeyn, wenn der Barometerſtand 760^{mm} iſt; die Höhe der Queckſilberſäule im toricelliſchen Rohre muß demnach noch eine Höhe von 608^{mm} haben. Nun bringe man etwas Schwefeläther in den oberen Theil der Röhre, ſo ſinkt die Queckſilberſäule noch tiefer. Durch Niederdrücken der ganzen Röhre kann man es nun leicht dahin bringen, daß der obere, nicht mit Queckſilber angefüllte Raum der Röhre wieder gerade ſo groß iſt als vor dem Eindringen des Aethers, daß er alſo für unſern Fall wieder 25^{cm} beträgt. Nun iſt die Luft noch in demſelben Raume verbreitet wie vorher, allein in dieſem Raume befindet ſich jetzt außer der Luft noch Aetherdampf, und zwar gerade ſoviel, als ob gar keine Luft da wäre. Die Spannkraft des Gemenges von Luft- und Aetherdampf muß alſo gleich ſeyn der Summe der Spannkraft der ſchon vorher vorhandenen Luft, für unſern Fall 152^{mm} + der Spannkraft des geſättigten Aetherdampfs für die herrſchende Temperatur. Dieſe Temperatuv ſey 15^{0}. Die Tenſion des geſättigten Aetherdampfs für 15^{0} iſt 330^{mm}; die Summe der Spannkräfte der Luft und des Aetherdampfs iſt alſo $152 + 330 = 482^{mm}$. Die Depreſſion der Queckſilberſäule muß demnach 482^{mm} betragen, die Höhe der Queckſilberkuppe über dem Niveau in *cn* muß demnach noch $760 - 482 = 278^{mm}$ ſeyn, was der Verſuch auch vollkommen beſtätigt.

Dieſe Art des Verſuchs iſt jedoch nur für Luft von geringer Tenſion beweiſend; daß ſich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmoſphäriſcher Dichtigkeit gefüllt iſt, vollkommen ebenſo viel Dampf bildet, als ob der Raum leer wäre, läßt ſich mit dem Apparate Fig. 334 (a. f. S.) zeigen. *l* iſt eine weite graduirte Glasröhre, welche oben und unten mit einem eiſernen Hahn verſehen iſt. Der obere Hahn *s* iſt nicht ganz durchgebohrt, ſondern er enthält nur eine Höhlung, wie umſtehende Figur zeigt.

Fig. 334.



Am unteren Ende iſt die Röhre *t* mit einer engeren und längeren *t'* verbunden. Man kann den oberen Hahn abſchrauben, um einen Strom trockner Luft durch den Apparat ſtreichen zu laſſen. Iſt dies geſchehen, ſo gießt man Queckſilber in den offenen Schenkel *t'* ein und ſchraubt den Hahn *s* wieder auf. Die in der Röhre *t* abgeſperrte Luft ſteht nun genau unter dem Drucke einer Atmoſphäre, weil die Queckſilberſpiegel in beiden Röhren in gleicher Höhe liegen. Nun wird eine Flüſſigkeit, etwa Weingeiſt, in den Hahn *s* gegoſſen, und man dreht ihn immer nach derſelben Richtung um. Bei jeder Umdrehung wird ein Tropfen der Flüſſigkeit in die Röhre *t* gebracht. Alsbald bilden ſich Dämpfe, das Queckſilber in *t* ſinkt und ſteigt dagegen in *t'*. Die Dämpfe bilden ſich freilich langſamer als im leeren Raume; nach kurzer Zeit aber haben ſie das Maximum der Spannkraft erreicht, welches dem Maximum der Spannkraft gleich iſt, deſſen die Dämpfe im leeren Raume bei derſelben Temperatur fähig ſind. In der That, wenn man von neuem Queckſilber in den offenen Schenkel *t'* gießt, ſo kann man es leicht dahin bringen, daß das Gemiſch von Gas und Dampf denſelben Raum einnimmt, den vorher die Luft allein einnahm. Nun aber ſteht das Queckſilber in der Röhre *t'* höher, und man findet, daß die Höhe der Queckſilberſäule in *t'* über dem Niveau in *t* genau der Spannkraft des geſättigten Dampfes für die herrſchende Temperatur gleich iſt. In dem mit Luft gefüllten Raume hat ſich alſo gerade ebenſo viel Dampf gebildet, als ſich bei gleicher Temperatur in einem eben ſo großen, aber abſolut leeren Raume hätte bilden können.

Daſſelbe bleibt auch noch wahr, wenn man das Gemenge von Luft und Gas einem noch ſtärkeren Drucke ausſetzt, indem man neue Mengen Queckſilber in den längeren Schenkel eingießt; oder wenn der Druck geringer wird, was man dadurch bewerkſtelligen kann, daß man den unteren Hahn öffnet, um etwas Queckſilber austreten zu laſſen. In allen Fällen ſieht man, wenn man die Veränderungen, welche das Volumen der Luft erleidet, gehörig in Rechnung bringt, daß die Spannkraft des Gemenges der Summe der Spannkräfte der Luft und des Dampfes gleich iſt.

Der Dampf, welcher mit einem andern Gaſe gemengt iſt, kann gerade ſo wie der Dampf, welcher für ſich allein in einem ſonſt leeren Raume beſteht, durch zwei Urſachen flüſſig gemacht werden, nämlich durch einen vermehrten Druck und durch Erniedrigung der Temperatur. Unſere atmoſphäriſche Luft enthält immer Waſſerdampf. Denken wir uns ein Liter

solcher Luft bei einer Temperatur von 20°, welche so viel Wasserdampf enthält, daß er für sich allein eine Tension von 10^{mm} ausübt, oder, was dasselbe ist, nehmen wir an, daß in diesem Liter Luft 0,00974 Gr. Wasserdampf enthalten seyen, so ist der Raum noch nicht mit Wasserdampf gesättigt, denn nach der Tabelle Seite 346 ist die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von 20° = 0,0000172; in dem Liter Luft könnten also bei dieser Temperatur 0,0172 Gr. Wasserdampf verbreitet seyn. Wenn man aber dies Gemenge von Luft und Gas comprimirt, so wird die Tension des Wasserdampfs eben so gut wie die der Luft vermehrt, sie wird für beide in gleichem Verhältniß zunehmen, bis der Wasserdampf sein Maximum der Spannkraft erreicht hat. Wenn man noch weiter comprimirt, so condensirt sich ein Theil des Dampfes und setzt sich in Form von Thau an den Gefäßwänden ab. Hätte man dasselbe Liter Luft nicht comprimirt, aber erkaltet, so würde sich der Dampf ebenfalls verdichtet haben, und zwar würde der feuchte Niederschlag in unserm Beispiele bei einer Temperatur von 11° erfolgt seyn.

Indem man diese Folgerungen allgemein macht, sieht man, daß in einem gegebenen Raume, einem Liter z. B., eine beliebige Anzahl gasförmiger Körper eingeschlossen werden kann, von denen sich jeder gasförmig im ganzen Raume verbreitet; der Druck, den sie ausüben, ist aber stets der Summe der Spannkräfte gleich, welche jedes der Gase für sich allein ausüben würde, wenn die anderen Gase gar nicht in dem Raume vorhanden wären.

Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man 138
im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen, wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man die Dampfblasen, welche sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur hoch genug ist, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß

genug Wärme vorhanden ſey, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme abſorbirt wird.

Aus der erſten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüſſigkeit mit dem auf ihr laſtenden Drucke variirt, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüſſigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Waſſer bei 100°; auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4772 Metern, wo der Druck der Atmoſphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Waſſer ſchon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Waſſerdampfs 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84°. In noch größerer Höhe würde das Waſſer bei noch niedriger Temperatur ſieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüſſigkeit hat, ſo kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es iſt derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des geſättigten Dampfes jenem Drucke gleich iſt. Umgekehrt kann man eine Flüſſigkeit bei einer gegebenen Temperatur in's Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

Bei einem Drucke von 40^{mm} z. B. iſt die Siedetemperatur des Waſſers 35°, weil bei dieſer Temperatur die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs 40^{mm} iſt. Unter einem Drucke von 10^{mm} ſiedet das Waſſer bei 11°, unter einem Drucke von 5^{mm} bei 0°.

Die Wahrheit dieſer Folgerungen läßt ſich leicht durch den Verſuch nachweiſen. Man bringt Waſſer von 30° in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 30^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade ſo, als ob das Waſſer an freier Luft über einem lebhaften Feuer ſtände. Dieſes Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und ſelbſt auf die Flüſſigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt dieſen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unſeren Luftpumpen iſt es nicht möglich, das Waſſer bei 0° in's Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 5^{mm} hervorbringen kann, indem ſich beſtändig Dampf an der Oberfläche des Waſſers bildet.

Fig. 335.

An dem Fig. 335 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere hieher gehörige Erſcheinung. Ein Ballon *a* mit langem Halſe wird zur Hälfte mit Waſſer gefüllt; wenn durch Kochen deſſelben alle Luft ausgetrieben iſt, verſchließt man den Hals

durch einen Kork und kehrt den Ballon um, wie Fig. 335 zeigt. Wenn man ihn sich selbst überläßt, ist kein Sieden zu beobachten; wenn man aber kaltes Wasser auf den oberen Theil gießt, so beginnt es auf der Stelle mit großer Heftigkeit. Das kalte Wasser bringt das Wasser im Ballon in's Kochen, weil es den Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und so den auf der Flüssigkeit lastenden Druck vermindert.

Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte des Wassers für mehrere bewohnte Orte, deren Höhe wohl bekannt ist.

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkte in Graden.
Meierei Antisana (Südamerika) .	4101	454	86,3
Mincipampa (Peru)	3618	483	87,9
Quito	2908	527	90,1
Laxamaria (Peru)	2860	531	90,3
Santa Fe de Bogoda	2661	544	90,9
Cuenza (Quito)	2633	546	91,0
Merico	2270	572	92,3
Hospiz St. Gotthard	2075	586	92,9
Dorf St. Veran (See-Alpen) .	2040	588	93,0
St. Remi	1604	621	94,5
Dorf Gavarni (Pyrenäen) . .	1444	634	95,0
Barèges (Pyrenäen).	1269	648	95,6
Palast St. Ildefonso (Spanien).	1155	657	96,0
Bäder des Mont d'Or (Auvergne)	1040	667	96,5
Madrid	608	704	97,8
Innspruck	566	708	98
München	538	710	98,1

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkt in Graden.
Salzburg	452	718	98,4
Genf und Freiburg	372	725	98,6
Regensburg	362	726	98,7
Moskau	300	732	99,0
Turin	230	738	99,1
Prag	179	743	99,3
Lyon	162	745	99,4
Wien	133	747	99,5
Bologna	121	749	99,5
Dresden	90	752	99,6
Paris (Obſervatorium 1ſter Stock)	65	754	99,7
Rom (Kapitol)	46	756	99,8
Berlin	40	756	99,8

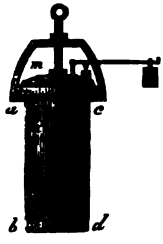
Da der Barometerſtand an einem und demſelben Orte fortwährend ſchwankt, ſo folgt, daß der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris ſind die äußerſten Gränzen des Barometerſtandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719^{mm} und 781^{mm}. Dem höchſten Stande von 781^{mm} entſpricht ein Siedepunkt von 100,8^{0}, dem niedrigſten Barometerſtande von 719^{mm} aber ein Siedepunkt von 98,5^{0}. Man begreift wohl, daß bei der Beſtimmung des Siedepunktes an den Thermometerſcalen der Barometerſtand berückſichtigt werden muß.

Wollaſton hat ein ſehr empfindliches Thermometer conſtruirt, welches nur die Temperaturgrade in der Nähe des Siedepunktes angiebt, mit Hülfe deſſen man die Differenz der Siedepunkte des Waſſers von einem Stockwerke eines Hauſes zum andern nachweiſen kann. Die Conſtruction eines ſolchen Thermometers erfordert viele Sorgfalt, weſentlich aber iſt, daß ein Grad der Scala wenigſtens eine Länge von 30^{mm} hat.

139 Wenn man den Druck auf die Flüſſigkeit vermehrt, ſo wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck ſtark genug macht. Es iſt dies der Fall bei dem unter dem Namen des Papinianiſchen Topfes oder des Papinianiſchen Digeſtors bekannten Apparate, Fig. 336. In demſelben kann man das Waſſer bis zu ſehr hohen Temperaturen erwärmen, ohne daß es kocht.

Dieſer Apparat beſteht aus einem cylindriſchen Gefäße von Eiſen oder beſſer von Meſſing oder Kupfer, deſſen Wände im Stande ſind, einen ſehr ſtarken Druck auszuhalten. Eine Oeffnung iſt durch ein Sicherheitsventil geſchloſſen, welches man ſo ſtark belaſten kann, daß ein Druck von vierzig bis funfzig Atmoſphären nöthig iſt, um es zu heben. Das Kochen iſt unmöglich, weil der Dampf, welcher ſich über der Flüſſigkeit befindet, nicht entweichen kann und deshalb einen hinlänglich ſtarken Druck ausübt, um es zu verhindern. Sobald man aber das Ventil öffnet, ſtrömt der Dampf mit ungeheurer Stärke hervor, gleichzeitig aber ſinkt die Temperatur des Gefäßes, weil es alle die Wärme liefern muß, welche auf einmal bei der heftigen Dampfbildung gebunden wird.

Fig. 336.



Dieſer Digeſtor wurde in der Mitte des 17ten Jahrhundert von Papin, einem in Marburg und Kaſſel lebenden Gelehrten, erfunden. Er diente zu einer Menge merkwürdiger Verſuche, theils um die mechaniſche Kraft des Dampfes, theils um die auflöſende Kraft des über 100° erwärmten Waſſers zu zeigen. Mit Erſtaunen ſah man die Möglichkeit, aus den Knochen eine eben ſo nahrhafte Subſtanz auszuziehen, wie aus den ſaftigſten Muskeltheilen.

Wenn man in einem Gefäße Waſſer in's Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, ſo beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüſſigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausſtrömen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausſtrömungsgeſchwindigkeit möglich geworden iſt.

In einer flüſſigen Maſſe wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche laſtet, ſondern auch noch das Gewicht einer Flüſſigkeitsſäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen mit Waſſer gefüllten Keſſel, ſo würde am Boden ein Druck von 2 Atmoſphären ſtattfinden, und hier würden ſich alſo erſt bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblaſen bilden können. Da aber die Temperatur der flüſſigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° ſteigen kann, ſo wird die Flüſſigkeit vom Boden, ihres geringeren ſpecifiſchen Gewichtes wegen, fortwährend aufſteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden ſich Dampfblaſen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblaſen, welche ſich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um ſo mehr zu, je höher ſie ſteigen, weil der Druck, welcher auf ſie wirkt, immer geringer wird. Dieſe Erſcheinungen beobachtet man

ſelbſt ſchon in kleinen Gefäßen, in welchen das Waſſer nur einige Zoll tief iſt. — Bevor das vollſtändige Kochen beginnt, bilden ſich an dem Boden ſchon Dampfblaſen, welche aber beim Aufſteigen ſich plötzlich wieder verdichten, weil ſie in Waſſerſchichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig iſt. Daher rührt das eigenthümliche Geräuſch, welches man einige Augenblicke vor dem vollſtändigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Verſuch in einem Glaskolben anſtellt, ſo beobachtet man, wie ſich die Blaſen am Boden bilden, wie ſie ſteigen und alsbald verſchwinden. Man ſagt alsdann, das Waſſer ſingt. Das Singen iſt ein Zeichen des bald erfolgenden vollſtändigen Kochens.

140 **Einfluß aufgelöſter Subſtanzen auf den Siedepunkt.** Der Siedepunkt der Flüſſigkeiten erleidet durch Subſtanzen, welche nur mechaniſch in demſelben ſuspendirt ſind, keine Veränderung; eine ſolche Veränderung tritt aber ein, wenn ſich die Theilchen des fremden Körpers chemiſch mit der Flüſſigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunkts des Waſſers. Der Dampf, welcher ſich aus ſolchen Löſungen bildet, iſt gerade eben ſo rein, als ob er aus reinem Waſſer ſich gebildet hätte.

Legrand hat eine Menge intereſſanter Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt, deren Reſultate die folgende Tabelle enthält.

Tabelle

der Siedepunkte verſchiedener geſättigter Löſungen.

Namen der Löſungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Waſſer ſättigen.
Chlorſaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlenſaures Natron	104,6	48,5
Phosphorſaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,4
Chlornatrium	108,4	41,2
Salzſaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinſteinſaures Kali	114,67	269,2
Salpeterſaures Kali	115,9	335,1
Chlorſtrontium	117,6	117,5
Salpeterſaures Natron	121,0	224,8
Eſſigſaures Natron	124,37	209,0
Kohlenſaures Kali	133,0	205,0
Salpeterſaurer Kalk	151,0	362,2
Eſſigſaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0
Salpeterſaures Ammoniak	180,0	unendlich.

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muß, um die Siedetemperatur um 1—2 Grad u. s. w., bis zum Sättigungspunkte, zu erheben. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpeters. krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniakalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaures Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9.0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	140,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83.4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93 2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	„	241,9	730,4														
68	„	252,8	775,0														
70	„	264,2															
72	„	276,1															
74	„	288,5															
76	„	301,4															
78	„	314,8															
80	unendl.																

Rudberg hat durch genaue Verſuche nachgewieſen, daß die Temperatur der aus einer ſiedenden Salzlöſung ſich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich iſt, welche unter gleichem Drucke aus reinem Waſſer aufſteigen, die Temperatur der ſiedenden Salzlöſung mag noch ſo viel die des ſiedenden Waſſers überſteigen.

Wenn eine Flüſſigkeit mit irgend einer andern mehr oder weniger flüchtigen gemiſcht wird, ſo tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunktes ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Waſſers erniedrigt, durch Schwefelſäure aber erhöht.

Auch die Wände der Gefäße üben einen Einfluß auf den Siedepunkt aus; ſo kocht z. B. das Waſſer in metallenen Gefäßen eher als in gläſernen. Man beobachtet häufig, daß das Kochen unter einem heftigen Aufſtoßen vor ſich geht, welches um ſo ſtärker iſt, je mehr Cohäſion die Theilchen der Flüſſigkeit unter einander haben, und je ſtärker die Molekularwirkung zwiſchen den Theilchen der Flüſſigkeit und der Gefäßwände iſt. Es reicht oft hin, einige Metallſtückchen in die Glasgefäße zu werfen, um das Stoßen zu verhindern und das Kochen regelmäßig zu machen.

141 **Schnelligkeit des Kochens.** Die Menge des Dampfes, welche durch Kochen erzeugt wird, hängt von der Menge der Wärme ab, welche in einer gegebenen Zeit in die Flüſſigkeit übergehen kann, und dieſe Wärmemenge hängt ab 1) von der Wirkſamkeit des Heerdes, 2) von der Natur und der Dicke der Keſſelwände, und 3) von der Größe der Oberfläche der Flüſſigkeit, welche der Wirkung des Feuers ausgeſetzt iſt.

1. Die Wirkſamkeit der Feuerſtelle hängt von der Einrichtung des Ofens und der Natur des Brennſtoffes ab, denn verſchiedene Brennſtoffe, wie Holz, Kohlen, Torf u. ſ. w., geben bei gleichem Gewicht nicht gleiche Mengen Wärme, und auch nicht mit allen läßt ſich dieſelbe Temperatur hervorbringen.

2. Die äußere Oberfläche des Keſſels kann mehr oder weniger geeignet ſeyn, Wärme aufzunehmen, und ferner werden wir ſehen, daß die Natur der Wände und die Dicke derſelben einen bedeutenden Einfluß auf die Menge der durchgehenden Wärme ausübt.

3. Das Waſſer, welches die erhitzten Keſſelwände berührt, iſt dasjenige, welches zunächſt die Wirkung des Feuers empfängt; und wenn jeder Theil der Wand gleiche Wärmemenge liefert, ſo iſt klar, daß die Menge des Waſſers, welches in einer gegebenen Zeit verdampft, der Größe desjenigen Theils der Keſſelwand proportional iſt, welcher vom Feuer getroffen wird. Dies iſt auch durch Verſuche beſtätigt worden, welche wenigſtens für die Praxis wichtig ſind. Es ſcheint, daß unter den günſtigſten Umſtänden bei einem möglichſt lebhaften Feuer jedes Quadratmeter der erhitzten Oberfläche 2 bis 3 Kilogramm Waſſer in der Minute verdampft.

Es ist dies wenigstens der Fall bei den Locomotiven auf Eisenbahnen, welche mit einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären arbeiten. Zur Heizung der Kessel feststehender Niederdruckmaschinen sind die Einrichtungen so getroffen, daß möglichst an Brennmaterial gespart wird, und bei diesen erhält man in der Regel nur $\frac{2}{3}$ Kilogramm Dampf in der Minute von jedem Quadratmeter der erhitzten Fläche, wenn man auch diejenigen Theile des Kessels eben so gut als Feuerfläche betrachtet, welche nur der Wirkung des Rauchs ausgesetzt sind, als diejenigen, welche die directe Wirkung der Flamme empfangen.

Bei gleichem Drucke sind die Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten 142
nicht dieselben. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760^{mm}

Cyangas	— 18	Grad.
Schweflige Säure .	— 10	»
Schwefeläther . . .	+ 37,8	»
Schwefelkohlenstoff .	47,0	»
Alkohol	79,7	»
Terpentinöl . . .	157	»
Phosphor	290	»
Schwefel	299	»
Schwefelsäure . . .	310	»
Leinöl	316	»
Quecksilber . . .	350	»

Einige Flüssigkeiten zeigen, mit rothglühenden Metallflächen in Berüh- 143
rung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, daß sie nicht in's Kochen kommen. Im Kleinen kann man den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann einige Tropfen Wasser in die glühende Schale fallen läßt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Quecksilber in einem Glasgefäße, nimmt eine rasche drehende Bewegung an, ohne in's Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe groß genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale gießen, ohne daß es in's Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und die Schale etwas erkaltet ist, beginnt das Wasser plötzlich mit der größten Heftigkeit zu kochen, so daß das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, daher der Name des Leidenfrostischen Tropfens.

Die wahrscheinliche Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist die, daß zwischen den Theilchen des Wassers und dem glühenden Metall eine zu

wenig innige Berührung ſtattfindet, als daß genug Wärme in das Waſſer übergehen kann, um das Kochen hervorzubringen. Bei abnehmender Hitze ſtellt ſich die Berührung wieder her, daher die plötzliche heftige Dampfbildung. Wie dem auch ſey, die Sache erſcheint höchſt ſonderbar und verdient wohl eine neue gründliche Unterſuchung.

Auch unter anderen Umſtänden, bei beträchtlicheren Maſſen, iſt dieſe Erſcheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianiſchen Topfe und in Keſſeln von Dampfmaſchinen; ſie iſt die Urſache gefährlicher Exploſionen. Wenn nämlich der Waſſerſtand in einem Dampfkeſſel ſo tief geſunken iſt, daß ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Waſſer in Berührung iſt, ſo kann das Metall an dieſer Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Waſſer in den Keſſel zufließt, ſo ſind die Bedingungen zum Leidenfroſtiſchen Phänomen gegeben; einige Zeit lang bleibt das Waſſer mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen, nachdem aber die Keſſelwände ſich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit ſolcher Heftigkeit, daß die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil ſchnell genug entweichen können, es erfolgt eine Exploſion.

Eine Erſcheinung, welche auch hierher gehört, iſt von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkeſſeln machen, ohne daß Dampf entweicht, bei niedriger Temperatur aber ſtrömt der Dampf mit Gewalt hervor.

144 Verdunſtung nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüſſigkeit, während, wie wir geſehen haben, das Kochen darin beſteht, daß ſich auch im Inneren der flüſſigen Maſſe Dampf bildet. Das Waſſer verdampft an der Oberfläche der Flüſſe, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der ſich ſo bildende Waſſerdampf keine Spannkraft, welche ſtark genug iſt, um den Druck der atmoſphäriſchen Luft zu überwinden. Die alltäglichſten Beobachtungen zeigen uns, daß ſich bei jeder Temperatur Waſſerdampf bildet, und daß er ſich auch bei der ſchwächſten Tenſion doch in den Lüften verbreitet. Man hatte früher angenommen, daß eine chemiſche Verwandtſchaft zwiſchen den Luftmolekülen und denen des Waſſerdampfs die Urſache dieſer Erſcheinung ſey; wir haben aber geſehen, daß es nicht nöthig iſt, chemiſche Kräfte zu Hülfe zu nehmen. Der Waſſerdampf, ſo ſchwach ſeine Spannkraft auch ſein mag, miſcht ſich mit der Luft, wie ſich zwei Gaſe miſchen. Die einzige Bedingung alſo, welche erfüllt ſeyn muß, damit eine Flüſſigkeit verdunſten kann, iſt die, daß die umgebenden Luftſchichten nicht mit Dampf geſättigt ſind; da ferner bei der Miſchung zweier Gaſe die Molekülе des einen ein mechaniſches Hinderniß für die Verbreitung des andern bilden, ſo kommt es, daß bei der

Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während bei bewegter Luft die Verdunstung weit rascher vor sich geht, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß, wenn ein trockner Wind mit Lebhaftigkeit weht, das Wasser sehr rasch verdunstet.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, daß die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trocknen Luft bei einer Temperatur von 11° gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30° in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Größe der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, man kann nur nicht sagen, daß die Geschwindigkeit der Verdunstung geradezu der Tension des Dampfes proportional ist, denn im Allgemeinen ist noch kein Dampf dieser Flüssigkeiten in der Luft vorhanden, durch welchen die Verdunstung verzögert würde.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

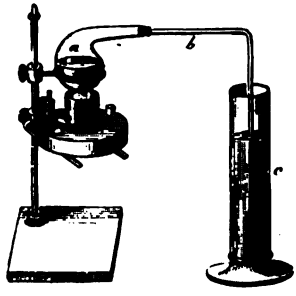
Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, 145
so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer eben so verschwunden wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen der Flüſſigkeiten läßt ſich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüſſigkeit, etwa Weingeiſt oder Schwefeläther, auf die Hand, ſo wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüſſigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt und dieſe mit Schwefeläther betröpfelt, ſo ſinkt das Thermometer um mehrere Grade.

Nachdem wir nun die Bildung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu beſtimmen, d. h. zu ermitteln, *wieviel* Wärme nöthig iſt, um eine beſtimmte Menge irgend einer Flüſſigkeit in Dampf zu verwandeln.

Fig. 337.



In Fig. 337 ſtelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Waſſer mit Hülfe einer Weingeiſtlampe kochend erhalten wird; wenn nun die ſich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindriſches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Waſſer gefüllt iſt, ſo werden die Dämpfe hier verdichtet, die Wärme alſo, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, das kalte Waſſer in *c* wird alſo allmälig erwärmt, und aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe ſchließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe ſchon einige Zeit gedauert, ſo daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben iſt, und nun erſt tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Waſſer des Cylinders *c*, ſo werden alle Dampfblaſen alsbald verdichtet, ſo wie ſie mit dem kalten Waſſer in Berührung kommen. In dem Maaße aber, als das Waſſer in *c* wärmer wird, werden die Dampfblaſen größer, bis endlich, wenn auch das Waſſer in *c* zur Siedehitze erwärmt iſt, die Dampfblaſen unverdichtet durch die ganze Flüſſigkeitsmaſſe aufſteigen, alſo in *c* ſelbſt ein förmliches Kochen ſtattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Verſuch unterbrochen, indem man den Glascylinder *c* wegnimmt.

Geſetzt nun, in *c* hätten ſich zu Anfange des Verſuchs 11 Kubikzoll

Waſſer von 0° befunden, ſo wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Verſuchs, 13 Kubikzoll Waſſer von 100° enthalten; es ſind alſo 2 Kubikzoll Waſſer hinzugekommen. Dieſe zwei Kubikzoll Waſſer ſind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden, die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, iſt in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Kubikzoll Waſſer von 0° auf 100° erwärmt; dieſelbe Wärmemenge alſo, welche bei der Verdampfung von 2 Kubikzoll Waſſer abſorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Kubikzoll Waſſer von 0° bis 100° zu erhöhen. Nun aber verhalten ſich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Reſultat unſers Verſuchs alſo auch folgendermaßen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig iſt, um eine beſtimmte Quantität Waſſer von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5\frac{1}{2}$mal ſo großen Waſſermaſſe von 0° auf 100° zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich iſt, um die Temperatur von 1 Kilogramm Waſſer um 1° zu erhöhen; um die Temperatur von $5\frac{1}{2}$ Kilogramm Waſſer um 1° zu erhöhen, ſind alſo 5,5 und um die Temperatur dieſer Waſſermaſſe um 100° zu erhöhen, ſind 550 ſolcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Kilogramm Waſſerdampf iſt demnach gleich 550.

Der eben angeführte Verſuch iſt nicht geeignet, die latente Wärme des Waſſerdampfes genau zu beſtimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Reſultate geben; er iſt aber ſehr geeignet, den Zuſammenhang der Sache recht anſchaulich zu machen. Was die Reſultate dieſes Verſuchs beſonders ungenau macht, iſt der Umſtand, daß die hohe Temperatur, zu welcher man das Waſſer im Cylinder *c* erheben muß, einen bedeutenden Wärmeverluſt an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Waſſerdampf ſchon im Rohre verdichtet, giebt hier ſchon eine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Waſſer im Cylinder *c* an; man begreift alſo leicht, daß, bis das Waſſer in *c* in's Kochen kommt, mehr Waſſer aus dem Gefäße *a* herübergekommen ſeyn wird, als es der Fall ſeyn würde, wenn dieſe beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieſer Verſuch wird alſo in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Waſſerdampfs geben. Wir werden ſogleich genauere Methoden zur Beſtimmung dieſer Größe kennen lernen.

Bei der Deſtillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe in ein Rohr geleitet, welches mit kaltem Waſſer umgeben iſt; dadurch werden die Dämpfe in dieſem Rohre in tropfbare Flüſſigkeit verwandelt, die Temperatur des Kühlwaſſers aber wird durch

die bei der Condenſirung der Dämpfe frei werdende Wärme bedeutend erhöht; man kann ſich davon leicht ſchon an dem kleinen Deſtillirapparate, Fig. 338, überzeugen, bei welchem die Dämpfe aus dem Glaskolben, in welchem ſie erzeugt werden, in ein gerades Rohr geleitet werden, welches durch ein weiteres Rohr hindurchgeht, welches das Kühlwaſſer enthält. Das Kühlwaſſer, welches am unteren Ende des Kühlrohrs kalt zufließt, fließt am oberen Ende des Kühlrohrs erwärmt wieder ab. Bei Deſtillationen,

Fig. 338.

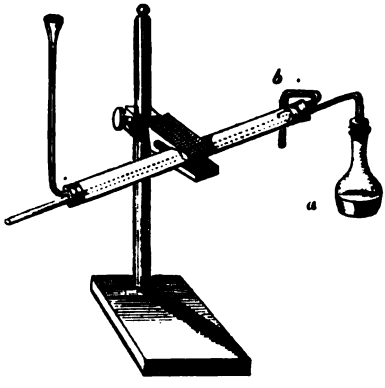
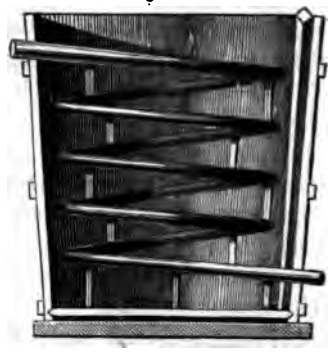


Fig. 339.



welche in größerm Maaßſtabe ausgeführt werden, iſt das Rohr, in welchem die Dämpfe condenſirt werden ſollen, in Form einer Schraubenlinie durch das mit dem Kühlwaſſer gefüllte Gefäß geleitet, wie man Fig. 339 ſieht, damit die Dämpfe möglichſt lange mit dem kalten Waſſer in Berührung bleiben und man überzeugt ſeyn kann, daß am offnen Ende des Rohrs kein Dampf unverdichtet entweicht. Wenn ein ſolcher Apparat einige Zeit im Gange geblieben iſt, ſo wird man die oberen Schichten des Waſſers im Kühlgefäße immer ſehr heiß finden, weil natürlich das erwärmte Waſſer ſogleich in die Höhe ſteigt.

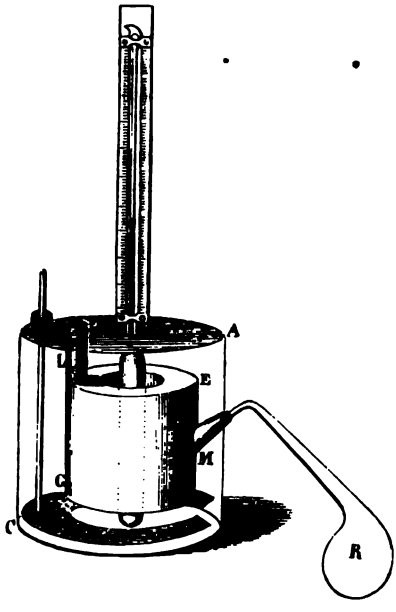
Man könnte nun mit jedem Deſtillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe beſtimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden iſt und wie viel Wärme er an das Kühlwaſſer abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu beſtimmen, hat man alſo nur einen Deſtillirapparat ſo einzurichten, daß ſich dieſe Größen mit Genauigkeit ermitteln laſſen.

Black hat zuerſt dieſe Methode in Anwendung gebracht, und alle ſpäteren Phyſiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu beſtimmen ſuchten, ſind von derſelben Grundidee ausgegangen. Wenn die Reſultate ver-

ſchiedener Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand ziemlich von einander abweichen, ſo liegt der Grund nur darin, daß mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berückſichtigt wurden.

Die neueſte, ſehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Poggendorff's Annalen LV.). In Fig. 340 iſt der Apparat dargeſtellt, den er zu ſeinen Verſuchen anwandte. Als Kühlgefäß diente ein cylindriſches Gefäß *AC*, deſſen Baſis ungefähr 3 Zoll Durchmeſſer hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte *R* entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, ſondern in einem cylindriſchen hohlen Gefäße *EG* von ringförmiger Baſis condenſirt. Bei *M* wurden die Dämpfe in dieſes Gefäß hineingeleitet, deſſen innerer Raum durch eine Röhre *L* mit der äußeren Luft in Verbindung war, ſo daß die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäß wurde mit einer gewogenen Quantität Waſſer gefüllt, deſſen Temperatur man ſtets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ableſen konnte. In dem Raume zwiſchen der Vorlage *EG* und der Wand des äußeren Gefäßes *AC* befand ſich eine horizontal liegende Metallſcheibe *B*, welche man vermittelſt eines vertikalen Drahtes ſich ſelbſt parallel auf und ab bewegen konnte; dadurch wurde das Kühlwaſſer in ſteter Bewegung erhalten und eine möglichſt gleichförmige Vertheilung der Wärme in demſelben bewirkt.

Fig. 340.



Bei dem Verſuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten und gegen die Wärme, welche vom Beobachter und der kleinen Weingeiſtlampe, durch welche die Flüſſigkeit in der Retorte *R* in's Kochen gebracht wurde, ausſtrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geſchützt.

Um zu verhüten, daß das Kühlgefäß Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunſtgriff an, deſſen ſich ſchon Rumford bei ähnlichen Verſuchen bedient hatte, und welcher darin beſteht, daß das Kühlgefäß mit Waſſer gefüllt wird, welches zuvor ſchon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und die Deſtillation ſo lange fortſetzt, bis die Temperatur des Kühlwaſſers die Lufttemperatur um eben ſo viel übertrifft, als ſie anfangs unter derſelben geweſen war. Dabei läßt ſich dann wohl annehmen, daß der Apparat während der erſten Hälfte des Verſuchs etwa eben ſo viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorſichtsmaßregeln, welche Brix anwandte, um möglichſt genaue Reſultate zu erhalten, können hier nicht weiter erörtert werden.

Die übergegangene Flüſſigkeit ſelbſt wurde nicht gewogen, ſondern der Gewichtsverluſt, den die Flüſſigkeit in der Retorte *R* während des Verſuchs erlitten hatte, beſtimmt. Man kannte alſo die Quantität der überdeſtillirten Flüſſigkeit, man wußte, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Waſſermaſſe hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes ſind die Werthe, welche Brix nach dieſer Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüſſigkeiten fand:

Waſſer	540
Alkohol	214
Schwefeläther . . .	90
Terpentinöl . . .	74
Citronenöl	80.

Dieſe Werthe ſind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Reſultaten.

Despretz, welcher ebenfalls recht genaue Verſuche über dieſen Gegenſtand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Waſſer	531
Alkohol	208
Schwefeläther . . .	97
Terpentinöl . . .	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Waſſerdampfs den Werth 567, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Waſſerdampfs mit 1, ſo ergeben ſich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Waſſer	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2,52}$	$\frac{1}{2,55}$
Schwefeläther	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5,47}$
Terpentinöl	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{7}$.

Nimmt man die Dichtigkeit des Waſſerdampfs zur Einheit, ſo ergeben ſich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben beſprochenen Flüſſigkeiten aus der Tabelle auf Seite 365 folgende Werthe:

Waſſer	1,
Alkohol	2,58
Schwefeläther . . .	4,15
Terpentinöl . . .	8,04.

Die Betrachtung dieſer Zahlen zeigt, daß ſich die latente Wärme der Dämpfe verſchiedener Flüſſigkeiten ſehr nahe umgekehrt verhält wie die Dichtigkeit dieſer Dämpfe. So iſt der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Waſſerdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes iſt aber 2,52- bis 2,55mal kleiner als die des Waſſerdampfes. Beim Terpentinöl iſt die Uebereinſtimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes, nach Dumas, den Werth 4,76 nehmen, ſo iſt er 7,6mal dichter als der Waſſerdampf, was ſchon weit beſſer paßt. Für den Aether iſt die Differenz bedeutend. Es muß vor der Hand dahingeſtellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinſtimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeſchrieben werden muß, oder ob ein ſolches Geſetz gar nicht ſtattfindet.

Wenn dieſes Geſetz richtig wäre, ſo würden gleiche Volumina geſättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüſſigkeiten dieſelbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher beſprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760^{mm} gebildeten Dämpfe.

Die latente Wärme der Dämpfe iſt nicht für alle Temperaturen dieſelbe; ſie iſt größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen; ein Kilogramm Waſſerdampf von 50° enthält alſo mehr, ein Kilogramm Waſſerdampf von 150° enthält weniger gebundene Wärme als ein Kilogramm Waſſerdampf von 100°. Nach den Verſuchen von Scharp iſt die Summe der freien und der fühlbaren Wärme des Waſſerdampfes immer eine conſtante Größe. Die latente Wärme des Waſſerdampfes von 100° iſt gleich 540, addirt man dazu die freie Wärme, alſo 100°, ſo erhält man die Summe 640; dieſelbe Summe muß man erhalten, wenn

man für irgend eine andere Temperatur die freie und die gebundene Wärme zuſammennimmt; daraus ergeben ſich für die latente Wärme des Waſſerdampfes verſchiedener Temperaturen folgende Werthe:

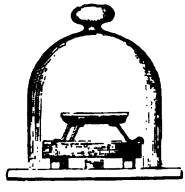
Freie Wärme des Dampfes.	Latente Wärme des Dampfes.
— 10°	650
0°	640
+ 50°	590
100°	540
200°	440.

Pambours Verſuche haben dies beſtätigt. Nach Despretz findet für Alkohol-, Aether- und Terpentinöldampf dieſe Beziehung nicht Statt.

146 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüſſigkeit an freier Luft kocht, ſo behält ſie eine conſtante Temperatur, weil ſie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes ſtets ſo viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung abſorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor ſich geht, ſo ſinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu ſeiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüſſigkeit ſelbſt und aus den umgebenden Körpern nehmen muß. Durch die bei raſcher Verdampfung ſtattfindende Wärmebindung erklären ſich folgende Verſuche.

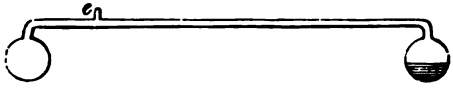
147 **Gefrieren des Waſſers im leeren Raume.** Man ſetzt unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäß, welches mit Schwefelſäure gefüllt iſt. Einige Zoll darüber iſt ein ganz dünnes flaches Metallſchälchen angebracht, Fig. 341, welches einige Gramm Waſſer enthält. Gewöhnlich iſt dieſes Schälchen an drei Fäden aufgehängt, oder es ruht auf drei feinen Metallfüßen, welche auf dem Rande des unteren Glasgefäßes aufſtehen. Nach einigen Kolbenzügen kommt das Waſſer in's Kochen; fährt man fort auszupumpen, ſo hört das Kochen auf, und wenn die Leere ſo vollſtändig wie möglich hergeſtellt iſt, wartet man einige Minuten. Bald erſcheinen Eisnadeln im Schälchen, und nach einiger Zeit iſt die ganze Waſſermaſſe in eine feſte Maſſe verwandelt.. Dieſer merkwürdige Verſuch rührt von Leslie her. Die Schwefelſäure abſorbirt den Waſſerdampf, ſobald er ſich bildet, und unterhält dadurch eine raſche Verdunſtung. Alle Körper, welche den Waſſerdampf ſtark abſorbiren, bringen dieſelbe Wirkung hervor. Das Metallſchälchen muß ſehr dünn ſeyn, weil es auch an der Erkaltung Theil nehmen muß; es muß von der Umgebung durch ſchlechte Wärmeleiter iſolirt ſeyn, damit dem Waſſer nicht von außen Wärme zugeführt wird.

Fig. 341.



In Wollaſton's Kryophorus gefriert das Waſſer ebenfalls durch ſeine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln Fig. 342, ſind durch eine Röhre verbunden. In jede Kugel wird etwas Waſſer gebracht und durch das Kochen deſſelben alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben. Iſt dies geſchehen, ſo wird die Oeffnung bei *e* mittelſt eines Löthrohrs zugeſchmolzen, und ſo der Apparat luftdicht verſchloſſen. Wenn man nun alles Waſſer in einer Kugel zuſammenlaufen läßt und dann die andere Kugel in eine Kältemiſchung taucht, ſo wird durch die fortwährend hier erfolgende Verdichtung der Waſſerdämpfe in der andern Kugel eine ſo raſche Verdunſtung hervorgerufen, daß das Waſſer gefriert.

Fig. 342.



Auch durch die raſche Verdunſtung von Schwefeläther kann man Waſſer leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu dieſem Zwecke eine mit Waſſer gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther beträufelt. Die ſo vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunſtet der Aether ſo raſch, daß das Waſſer gefriert.

Gefrieren des Queckſilbers. Man kann die Erkaltung durch Ver- 148
dampfen bis zum Gefrierpunkte des Queckſilbers treiben. Zu dieſem Zwecke umwickelt man eine Thermometerkugel mit einem Schwämmchen oder einem ſchwammartigen Gewebe, welches man mit Schwefelkohlenſtoff oder noch beſſer mit flüſſiger ſchwefliger Säure befeuchtet. Die Verdampfung geht ſo raſch vor ſich, und die dadurch weggenommene Wärmemenge iſt ſo bedeutend, daß das Thermometer auf — 10°, — 20° — 30° fällt und nach einigen Augenblicken das Queckſilber in der Kugel gefriert.

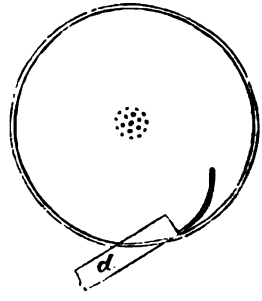
Eine Flüſſigkeit verdampft um ſo raſcher, ſie erzeugt alſo bei ihrer Verdampfnng eine um ſo ſtärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine ſtärkere Kälte erzeugt als durch Waſſer, durch ſchweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüſſige Kohlenſäure mehr als durch ſchweflige Säure.

Wenn man den mit flüſſiger Kohlenſäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 328 auf Seite 369 abkühlt, indem man ihn in eine Kältemiſchung ſtellt; wenn man dann die Flaſche umkehrt, ſo daß der Hahn unten iſt, und dieſen Hahn öffnet, ſo bringt ein Strahl flüſſiger Kohlenſäure hervor, welche ganz milchig erſcheint, weil durch die raſche Verdunſtung ſoviel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlenſäure ſelbſt in den feſten Zuſtand übergeht; es bilden ſich ſchneeähnliche Flocken von Kohlenſäure. Um dieſe feſte Kohlenſäure zu ſammeln dient der Behälter Fig. 343 (a. f. S.). Zwei Cylinder von Meſſingblech, welche auf der einen

Seite mit einem gewölbten Boden geſchloſſen ſind, werden zuſammengeſteckt, wie man Fig. 343 ſieht, ſo daß ſie einen geſchloſſenen Raum bil-

Fig. 343.

Fig. 344.



den. Ein am oberen Cylinder feſt anſitzender Haken *a* greift ebenſo wie ein diametral gegenüberſtehender über einen auf den andern Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man ſie aber ſo, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unterbrochen iſt, ſo kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 344 iſt der untere Theil im Grundriſſe dargeſtellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in dieſe Röhre *d* wird das an der Flaſche Fig. 329 befindliche Röhrchen *n* hineingeſteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlenſäure ſtrömt nun in den Behälter Fig. 343, deſſen Handgriffe auf beiden Seiten hohl ſind, ſo daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlenſäure entweichen kann, während die feſte ſchneeartige in dem Blechgefäße geſammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feſte Kohlenſäure herausnehmen zu können.

Dieſe hat nun eine ſehr niedrige Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man noch Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Queckſilber kann man mit dieſem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt erzeugt ſie ein ſchmerzhaftes Gefühl; die Temperatur iſt unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeiſt oder Schwefelkohlenſtoff ermittelt werden kann.

Man kann, wie ſchon oben bemerkt wurde, auch Stickſtoffoxydulgas mit Hülfe des Natterer'ſchen Apparates verdichten. Wenn die Oeffnung im Röhrchen *n* recht fein iſt, ſo erhält man das ausſtrömende Stickſtoff-

oxydulgas auch in freier Luft im flüſſigen Zuſtande. Natterer ſammelte ein kleines Trinkglas voll dieſer Flüſſigkeit, die ſich bei weitem länger erhielt als feſte Kohlenſäure und die niedrigſte Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu dieſem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer ſank auf — 105°, was wohl der Siedepunkt der Flüſſigkeit ſeyn dürfte; aus der Flüſſigkeit herausgezogen ſank es noch auf — 115°, indem es ſich mit einer Kruſte von feſtem Stickſtofforydul überzog. Alkohol von 0,84 ſpecif. Gewicht wird bei dieſen niedrigen Temperaturen zähe, von 0,797 ſpecif. Gewicht bedeutend dickflüſſig.

Die Alcarazzas, deren man ſich in Spanien bedient, um Waſſer und geiſtige Getränke kühl zu erhalten, ſind poröſe Gefäße, welche eine große Oberfläche für die Verdunſtung bieten. Die im Inneren befindliche Flüſſigkeit ſickert durch die Wände durch, ſie verdampft raſch in einer etwas bewegten Luft, und da dieſes fortwährend ſtattfindet, ſo wird dadurch das Gefäß ſammt der darin enthaltenen Flüſſigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer iſt als die der umgebenden Luft.

Man kann den Verſuch mit poröſen Tonzellen machen, wie ſie zu der Bunſen'ſchen Zinkkohlenkette gebraucht werden.

Aus ähnlichen Gründen haben die Pflanzen in der Regel eine Temperatur, welche niedriger iſt als die der Luft, denn ihre äußeren Gewebe verrichten mehr oder weniger das Geſchäft der Alcarazzas.

Die reichliche Ausdünſtung, welche fortwährend an der Oberfläche lebender Geſchöpfe vor ſich geht, iſt ebenfalls eine Urſache von Abkühlung. Wir werden ſpäter ſehen, wenn von der thieriſchen Wärme die Rede iſt, daß das Blut der warmblütigen Thiere eine fixe Temperatur hat, welche ohne die größten Nachtheile für den Organismus weder ſteigen, noch ſinken und nicht um einige Grade variiren kann, ohne daß der Tod erfolgt. Beim Menſchen, in welchem Klima er auch wohnen mag, beträgt dieſe Temperatur 37°. In der heißen Zone, wo die Temperatur der Luft oft auf 50° ſteigt, leben die Menſchen in dieſer glühenden Atmoſphäre, ohne an ihrer Temperatur Theil zu nehmen. Die Ausdünſtung iſt aber ſtets dieſer Wärme proportional.

Viertes Kapitel.

Von der Dampfmaſchine.

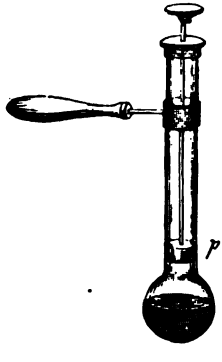
Der Waſſerdampf gehört zu den mächtigſten bewegenden Kräften, die 149
uns zu Gebote ſtehen. Es iſt kein Zweifel, daß der ungeheure Auf-

ſchwung, deſſen ſich die Induſtrie und der Verkehr in den neueſten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Waſſerdampfs zu verdanken iſt. Der Waſſerdampf liefert uns eine Kraft, deren wir auf's vollkommenſte Meiſter ſind, der wir jede nur beliebige Intenſität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Die Dampfmaſchine ſpielt im practiſchen Leben gegenwärtig eine ſo bedeutende Rolle, daß jeder Gebildete ſich gern über die Grundzüge ihrer Conſtruction unterrichten will, und dieſen Unterricht ſucht er natürlich zuerſt in den Lehrbüchern der Phyſik. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon ſeyn, in Beziehung auf die Conſtruction der Dampfmaſchinen und die Geſchichte ihrer Erfindung in's Detail einzugehen; der Inhalt dieſes Kapitels ſoll nur dazu dienen, dem Leſer die Orientirung in der Einrichtung der wichtigſten Arten von Dampfmaſchinen zu erleichtern.

Die Idee, den Waſſerdampf als bewegende Kraft zu benutzen, iſt ſehr alt; ſchon Hero in Alexandrien conſtruirte einen Apparat, welcher durch die Reaction des ausſtrömenden Waſſerdampfs ungefähr ſo in Rotationsbewegung geſetzt wurde, wie das Segner'ſche Waſſerrad. Ein italieniſcher Mathematiker, Brancas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung eines Dampfkeſſels ausſtrömenden Dampf gegen die Schaufeln eines Rades ſtoßen, welches dadurch umgedreht wurde. Wie außerordentlich ſtark die mechaniſche Kraft des Waſſerdampfs bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerſt Papin mittelſt des Ventils an ſeinem Digeſtor nachgewieſen. Im Jahre 1687 conſtruirte er einen Apparat, welcher gewiſſermaßen die erſte Kolbenmaſchine genannt werden kann und deſſen Spiel aus Fig. 345 erſichtlich iſt. An eine ungefähr 1 Zoll weite Glasröhre iſt unten eine Kugel angeblaſen, welche etwas Waſſer enthält; in der Röhre aber bewegt ſich ein Kolben *p*, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen ſchließend und möglichſt leicht beweglich gemacht iſt. Nehmen wir an, der Kolben befinde ſich am unteren Ende der Röhre, ſo wird er durch die entwickelten Dämpfe in die Höhe getrieben werden, wenn man die Kugel erwärmt. Wenn der Kolben oben angekommen iſt, taucht man die Kugel in kaltes Waſſer; dadurch verdichten ſich die Dämpfe im Innern, es entſteht ein verdünnter Raum, der Druck der atmoſphäriſchen Luft, welcher auf der oberen Fläche des Kolbens laſtet, drückt ihn alſo nieder. Bei einer abermaligen Erwärmung wiederholt ſich daſſelbe Kolbenſpiel. Papin ſtellte ganz in dieſer Art Verſuche an; ſeine Cylinder, welche von Gußeiſen waren, hatten meh-

Fig. 345.



rere Fuß Durchmeſſer und eine entſprechende Höhe. Sie wurden noch lange im Gießhauſe zu Kaſſel aufbewahrt, bis ſie endlich beim Brande dieſes Gebäudes, im Jahre 1836, zu Grunde gingen.

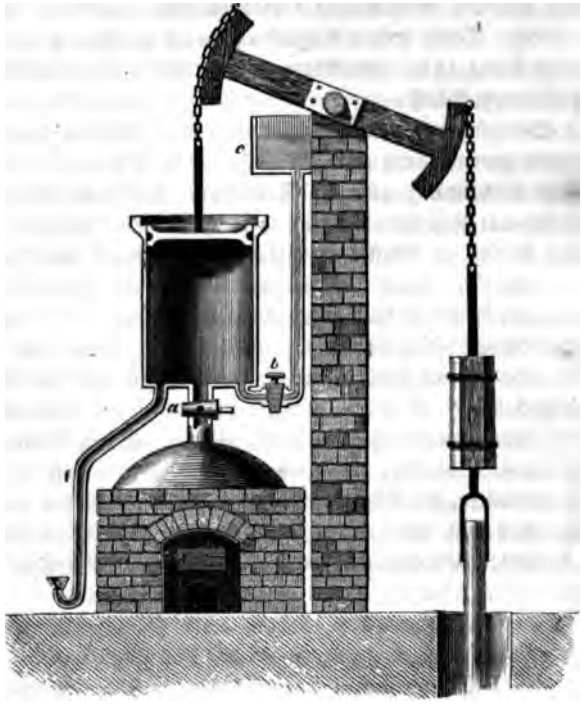
Die erſte practiſch angewandte Dampfmaſchine conſtruirte Savary im Jahre 1688. Schon früher hatte Salomon de Caus, in einem zu Frankfurt im Jahre 1615 erſchienenen Werke, gezeigt, daß man durch den Druck der Dämpfe Waſſer über ſein früheres Niveau heben, und durch Papin's Verſuche wurde nachgewieſen, daß man durch Condenſation der Dämpfe einen leeren Raum erzeugen könne. In Savary's Maſchine iſt Beides in Anwendung gebracht; das Spiel derſelben läßt ſich leicht durch den Apparat Fig. 346 anſchaulich machen. Ein Glaskolben *a*, welcher etwas Waſſer enthält, iſt durch einen Korkſtopfen verſchloſſen, durch welchen zwei Glasröhren hindurchgehen; die eine *b*, welche nach unten gebogen iſt, ragt nicht weiter in den Ballon hinein, die andere *c*, welche gerade aufſteigt und nur oben etwas umgebogen iſt, geht faſt bis auf den Boden des Ballons. Das obere Ende der Röhre *c* ſey durch einen Korkſtopfen verſchloſſen, ſo wird, wenn man den Ballon mittelſt einer Spirituslampe erwärmt, das Waſſer bald in's Kochen kommen, die Dämpfe entweichen durch die Röhre *b* und nehmen auch die Luft im Ballon mit fort. Wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, taucht man das untere Ende der Röhre *b* in ein Gefäß mit Waſſer und entfernt die Spirituslampe unter dem Ballon. Die Dämpfe in *a* verdichten ſich und die Folge davon iſt, daß das Waſſer in der Röhre *b* aufſteigt und ſich in das Gefäß *a* ergießt. Wenn es etwa bis zur Hälfte gefüllt iſt, verſchließe man das untere Ende der Röhre *b* mit einem Kork, nehme den Stopfen von *c* weg und bringe von Neuem Feuer unter den Ballon. Die Dämpfe, die ſich nun im oberen Theile des Kolbens bilden, können nicht entweichen, ſie drücken auf den Spiegel des Waſſers und machen, daß es in die Röhre *c* ſteigt, um oben auszufließen. Durch ein abermaliges Erkalten des Ballons kann man von Neuem Waſſer aus einem tiefern Gefäße durch das Saugrohr *b* in den Ballon *a* aufſaugen und durch abermaliges Erwärmen daſſelbe noch weiter im Steigrohre *c* heben. — Da die Savary'ſchen Maſchinen nicht mehr angewandt werden, ſo wird es wohl genügen, das Princip zu erläutern, ohne weiter auf die Beſchreibung ihrer Conſtruction einzugehen. Die Savary'ſchen Maſchinen wurden angewandt, um das Grubenwaſſer aus Bergwerken fortzuſchaffen.

Fig. 346.

Zu demſelben Zwecke wurde auch Newkomen's atmoſphäriſche 150
Maſchine angewandt, welche Fig. 347 (auf folgender Seite) abgebildet iſt.

Ein Cylinder iſt durch eine Röhre mit dem Dampfkeſſel verbunden, die Verbindung kann jedoch durch einen Hahn *a* nach Belieben unterbrochen

Fig 347.



und wieder hergeſtellt werden. In dem Cylinder bewegt ſich ein Kolben luftdicht auf und ab. In unſerer Zeichnung hat er gerade ſeine höchſte Stellung erreicht. Wenn der Kolben durch den aus dem Keſſel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden iſt, wird der Hahn *a* geſchloſſen, dagegen ein zweiter Hahn *b* geöffnet, durch welchen nun kaltes Waſſer aus dem Reſervoir *c* in den Cylinder eingeſpritzt wird. Dieſes kalte Waſſer condenſirt die Dämpfe im Cylinder, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmoſphäriſchen Luft treibt ihn nieder, wie wir dies ja ſchon an dem Apparate Fig. 345 geſehen haben.

Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens ſoll aber eine auf- und niedergehende Bewegung einer Pumpenſtange bewirken, und dies geſchieht auf folgende Weiſe. An dem Kolben iſt eine Kette befeſtigt, welche an dem einen Arme eines Balanciers angehängt iſt, an deſſen andern Arme eine ähnliche Kette mit der Pumpenſtange hängt. Durch den Niedergang

des Kolbens wird offenbar die Pumpenſtange gehoben. Wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, ſo kann ſich dieſe Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegſame Kette dieſelbe nicht fortpflanzt. Der Niedergang der Pumpenſtange kann nur dadurch bewirkt werden, daß die Pumpenſtange ſo ſchwer iſt, daß ſie durch ihr eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der andern Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

Das Waſſer, welches in den Cylinder eingeſpritzt wird, muß mit dem durch Condenſation des Dampfes entſtandenen fortgeſchafft werden, indem ſich ſonſt bald der ganze Cylinder mit Waſſer füllen würde. Der Abfluß des Waſſers aus dem Cylinder findet nun durch die Röhre *f* Statt, deren unteres Ende, in ein Reſervoir mit Waſſer eintauchend, mit einem Ventil verſehen iſt, welches ſich nach Außen öffnet, nach Innen aber ſchließt. Während der Kolben aufwärts getrieben wird, iſt die Tenſion der Dämpfe im Cylinder größer als der Druck der Atmoſphäre. Dieſer Druck der Dämpfe drückt nun das Waſſer, welches ſich im Cylinder befindet, durch die Röhre *f* (Fig. 347) hindurch gegen das erwähnte Ventil, welches ſich öffnet, um das Waſſer austreten zu laſſen; ſobald aber die Dämpfe condenſirt werden, erhält der atmoſphäriſche Druck das Uebergewicht und ſchließt das Ventil am Ende der Röhre *f*, ſo daß kein Waſſer hier eindringen kann.

Die Waſſermenge, welche durch jeden Hub der Pumpenſtänge gefördert werden kann, hängt natürlich von der Größe des Kolbens ab. Bekanntlich drückt die Atmoſphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einer Kraft, welche ungefähr dem Gewichte von 1 Kilogramm gleich iſt. Wenn nun die Oberfläche des Kolbens 1000 Quadratcentimeter betrüge, ſo würde noch ein Niedergang des Kolbens erfolgen, wenn die Pumpenſtange ſammt der zu hebenden Waſſermaſſe ein Gewicht von 1000 Kilogr. hat, vorausgeſetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werden könnte, was nun freilich nicht der Fall iſt.

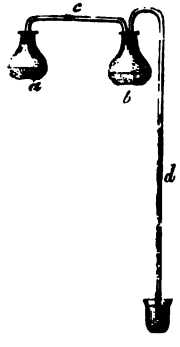
Bei dieſer Maſchine, wie ſie Newkomen conſtruirt hatte, war ſtets eine Perſon beſchäftigt, um die Hähne *a* und *b* zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu dieſem Geſchäfte angeſtellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, erſann ein Mittel, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maſchine ſelbſt bewirken zu laſſen, wodurch wieder ein großer Schritt zur Vervollkommnung der Dampfmaſchinen vorwärts gethan war. Potter band Schnüre an die Griffe, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte ſie zum Balancier, an welchem er ſie dergeſtalt befeſtigte, daß derſelbe, wenn er ſich hob und ſenkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und ſchloß.

Newkomen's Maſchinen erhielten den Namen atmoſphäriſche, weil das Heben des Waſſers durch den Druck der Atmoſphäre auf den Kolben bewirkt wurde. Sie waren ſehr verbreitet, und zwar nicht allein in England, ſondern auch auf dem Continente.

Im Vergleich zum verbrauchten Brennmaterial giebt die atmoſphäriſche Maſchine doch nur einen ſehr geringen Nutzeffect, es wird eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verſchwendet. Der Grund davon iſt leicht einzuſehen. Um eine möglichſt vollkommene Condenſation der Dämpfe im Cylinder zu erhalten, muß eine ziemlich bedeutende Menge kalten Waſſers eingeſpritzt werden, dadurch aber werden die Cylinderwände ſelbſt erkaltet. Wenn nun der Hahn *b* geſchloſſen und *a* wieder geöffnet wird, ſo kommen die aus dem Keſſel aufſteigenden Dämpfe mit den kälteren Wänden in Berührung, ſie werden verdichtet und können mithin nichts zur Hebung des Kolbens beitragen, eine bedeutende Menge Dampf wird alſo lediglich dazu verſchwendet, die Cylinderwände allmälig wieder zu erwärmen, damit dieſe Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens wieder verloren geht.

151 Jakob Watt war im Winter 1763 beauftragt worden, das Modell einer atmoſphäriſchen Maſchine, welches der Univerſität zu Glasgow gehörte, auszubeſſern. Als er mit dem Modell Verſuche anſtellte, ſah er ein, daß die Maſchine bei weitem mehr Dampf verbrauche, als zum Spiele des Kolbens nöthig ſei. Er ſann darüber nach, wie dem Uebelſtande abzuhelfen ſei, und kam auf den glücklichen Gedanken, einen von dem Cylinder abgeſonderten Condenſator anzubringen, und ſomit war der erſte Schritt in der glänzenden Laufbahn gethan, die Watt's Namen unſterblich macht.

Fig. 348.



Die Function des Conſendators läßt ſich durch den Fig. 348 abgebildeten einfachen Apparat recht anſchaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, ſind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verſchließt, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* in's Kochen bringt (es geſchieht dies am beſten dadurch, daß man ſie in heißes Waſſer taucht), ſo entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Queckſilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether in's Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet ſeyn, die Spannkraft der Dämpfe im Apparat nimmt dabei bis zu

einer beſtimmten Gränze ab, und das Queckſilber ſteigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer beſtimmten Höhe. Wäre z. B. die Temperatur der umgebenden Luft 20°, ſo wäre die Spannkraft der Dämpfe im Apparate 378^{mm}, das Queckſilber müßte alſo in der Röhre bis zu einer Höhe von 382^{mm} ſteigen. Wenn man nun die eine der beiden Kugeln, etwa *a*, in kaltes Waſſer taucht, ſo wird das Queckſilber in der Röhre *d* augenblicklich gerade ſo ſteigen, als ob man auch die Kugel *b* und den ganzen Apparat eben ſo ſtark erkaltet hätte. Hätte z. B. das kalte Waſſer in welches der Kolben *a* eingetaucht wurde, die Temperatur von 10° gehabt, während die der Luft 20° beträgt, ſo würde die Queckſilberſäule in der Röhre *d* von 382^{mm} ſchnell noch um 141^{mm}, alſo zu einer Höhe von 523^{mm} geſtiegen ſeyn, weil die Spannkraft des geſättigten Aetherdampfes für die Temperatur von 10° gleich 237^{mm} iſt. Kurz, dadurch, daß der Ballon *a* erkaltet wird, werden hier die Dämpfe condenſirt und die Tenſion der Dämpfe im ganzen Apparate gerade um eben ſo viel verringert, als ob der ganze Apparat eben ſo ſtark erkaltet worden wäre, obgleich die Temperatur der Wände des Ballons *b* und des übrigen Apparates, *a* ausgenommen, nicht geändert wurde. Der Ballon *a* ſpielt hier die Rolle eines Condenſators, eines Verdichters der Dämpfe.

Denken wir uns mit dem Cylinder einen luftdicht verſchloſſenen Raum durch eine Röhre in Verbindung geſetzt, welcher eben ſo wie der Cylinder ſelbſt mit Dampf erfüllt iſt; nun werde in dieſen Raum, den Condenſator, kaltes Waſſer eingeſpritzt, ſo werden hier die Dämpfe verdichtet, hier und im Cylinder ſelbſt wird die Spannkraft der Dämpfe in gleichem Maaße vermindert, ohne daß dadurch die Cylinderwände im mindeſten erkaltet werden.

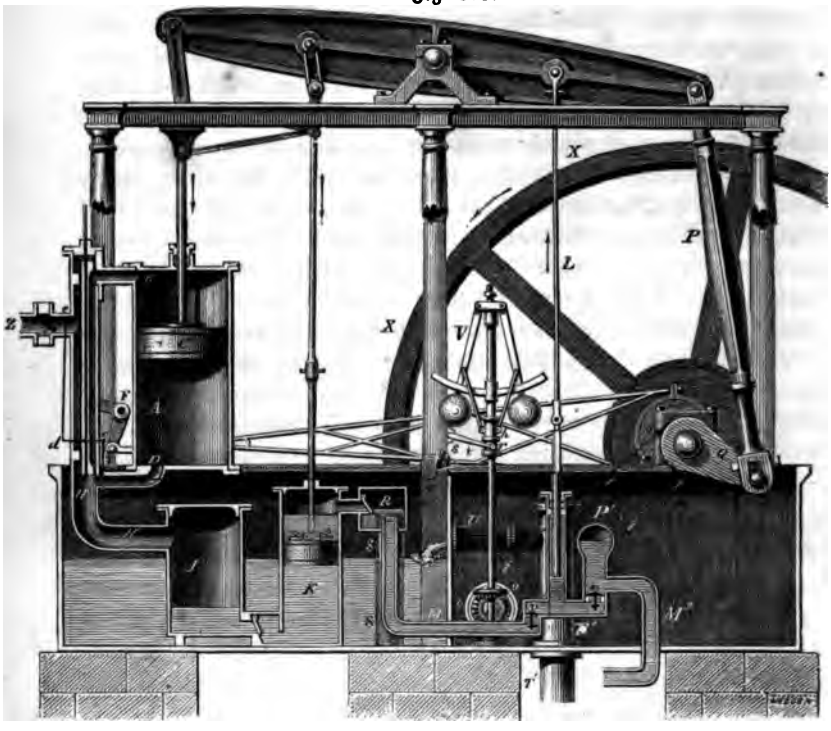
Um das Waſſer aus dem Condenſator wegzuſchaffen, brachte Watt eine Pumpe an, deren Stange an den Balanciers angehängt und alſo durch die Maſchine ſelbſt in Bewegung geſetzt wurde. Es folgte nun eine Verbeſſerung auf die andere, bis endlich die Watt'ſche Dampfmaſchine vollendet daſtand, wie wir ſie in Fig. 349 (a. f. S.) dargeſtellt ſehen.

Der Cylinder *A* iſt ſowohl oben als unten luftdicht verſchloſſen, ſo daß von keiner Seite die atmoſphäriſche Luft auf den Kolben *C* drücken kann. Der Dampf, welcher aus dem Keſſel durch die Röhre *Z* der Maſchine zugeführt wird, tritt abwechſelnd bei *E* und bei *D* in den Cylinder. Wie dieſe Abwechſelung hervorgebracht wird, werden wir bald ausführlicher betrachten. In der Stellung der Maſchine, wie ſie unſere Figur zeigt, tritt der Dampf oben bei *E* ein. Der Dampf im unteren Theile des Cylinders entweicht bei *D*, um durch die Röhre *H* nach dem Condenſator *I* zu gelangen, wo er verdichtet wird; oben drückt alſo der Dampf auf den Kol-

den *C*, unter demſelben iſt ein verdünnter Raum, der Kolben iſt alſo im Niedergange begriffen.

Man hat verſchiedene Vorrichtungen erſonnen, um zu machen, daß der

Fig. 349.



Dampf abwechſelnd oben und unten in den Cylinder eintritt, während der Dampf von der andern Seite des Kolbens nach dem Condenſator entweicht. Die einfachſte dieſer Einrichtungen iſt der Vierweghahn, ein Hahn, welcher durchbohrt iſt, wie Fig. 350 zeigt. Die Röhre *K* führe nach dem Keſſel, *C* nach dem Condenſator, *O* nach dem oberen, *U* nach dem unteren Theile des Cylinders. Wenn nun der Vierweghahn die Stellung Fig. 350 hat, ſo ſtrömt der Dampf aus den Keſſel in den oberen Theil des Cylinders, während der untere Theil deſſelben durch die Röhren *U* und *C* mit dem Condenſator verbunden iſt. Iſt der Kolben im Cylinder unten angekommen, ſo wird der Vierweghahn durch eine Viertelumdrehung

Fig. 350.

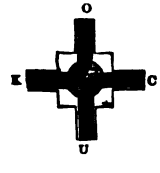
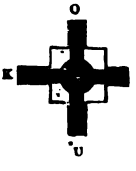


Fig. 351.



in die Stellung Fig. 351 gebracht. Nun ſind die Röhren *K* und *U* verbunden, der Dampf ſtrömt alſo unten ein, aus dem oberen Theile des Cylinders entweicht er aber durch die Röhren *O* und *C* nach dem Condenſator, jetzt alſo findet eine aufwärts gerichtete Bewegung des Kolbens Statt.

Fig. 352.

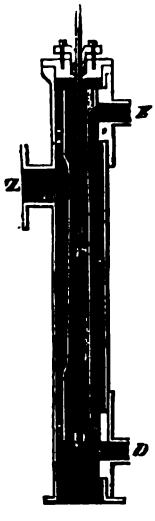
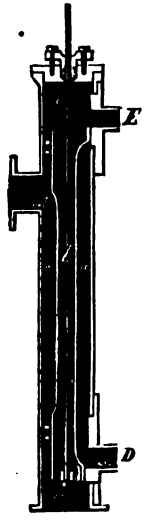


Fig. 353.

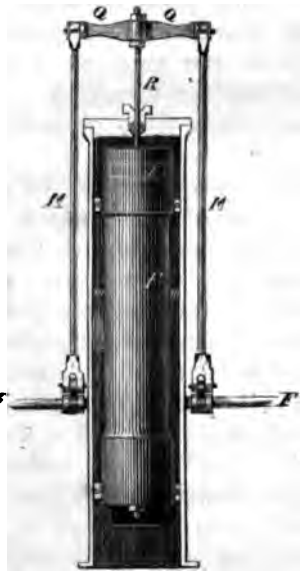


Der Vierweghahn hat ſich für größere Maſchinen nicht als practiſch bewährt; man kann nämlich die Kanäle des Hahns nicht leicht weit genug machen, damit ſie die nöthige Menge Dampf durchlaſſen. Am häufigſten wendet man jetzt das Schieberventil an, welches auch in unſerer Maſchine angebracht, und welches Fig. 352 u. 353 in ſeinen beiden äußerſten Stellungen in größerm Maaßſtabe dargeſtellt iſt. Durch die Röhre *Z* gelangt der Dampf in ein Behälter, aus welchem die Röhren *D* und *E* nach dem Cylinder führen. Dies Behälter iſt nun durch den Schiebkaſten *F* in zwei ganz abgeſonderte Räume getheilt. Der mittlere Theil *m* des Behälters nämlich iſt von dem oberen *a'* und dem unteren *a* gänzlich abgeſchloſſen, die Räume *a'* und *a* aber ſind durch die Höhlung des Schiebkaſtens ſelbſt verbunden. In den Raum *m* ſtrömt nun ſtets der Dampf aus dem Keſſel, die Räume *a'* und *a* ſind fortwährend mit dem Condenſator in Verbindung. Hat das Schiebkaſtenventil die Stellung Fig. 352, ſo ſtrömt der Dampf aus *m* durch den Kanal *E* oben in den Cylinder ein, durch den Kanal *D* aber gelangt der Dampf, welcher unter dem Kolben iſt, nach *a* und von da nach dem Condenſator. Hat aber der Schiebkaſten die Stellung Fig. 353, ſo ſtrömt der Dampf aus *m* durch *D* von unten in den Cylinder ein, der Dampf über dem Kolben aber geht durch *F* nach *a'*, von da durch den Schiebkaſten hindurch nach *a*, um endlich in den Condenſator zu gelangen.

Damit man ſich von dem Schieberventil eine ganz richtige Vorſtellung machen könne, iſt daſſelbe in Fig. 354 in der Richtung von *Z* her geſehen dargeſtellt. Die Art und Weiſe, wie der Schieber durch die Maſchine ſelbſt auf- und nieder gezogen wird, ſoll weiter unten noch betrachtet werden.

Der Condenſator *I*, Fig. 349, ſteht in einem zum Theil mit kaltem Waſſer gefüllten Behälter, aus welchem daſſelbe fortwährend durch eine Oeff-

Fig. 354.



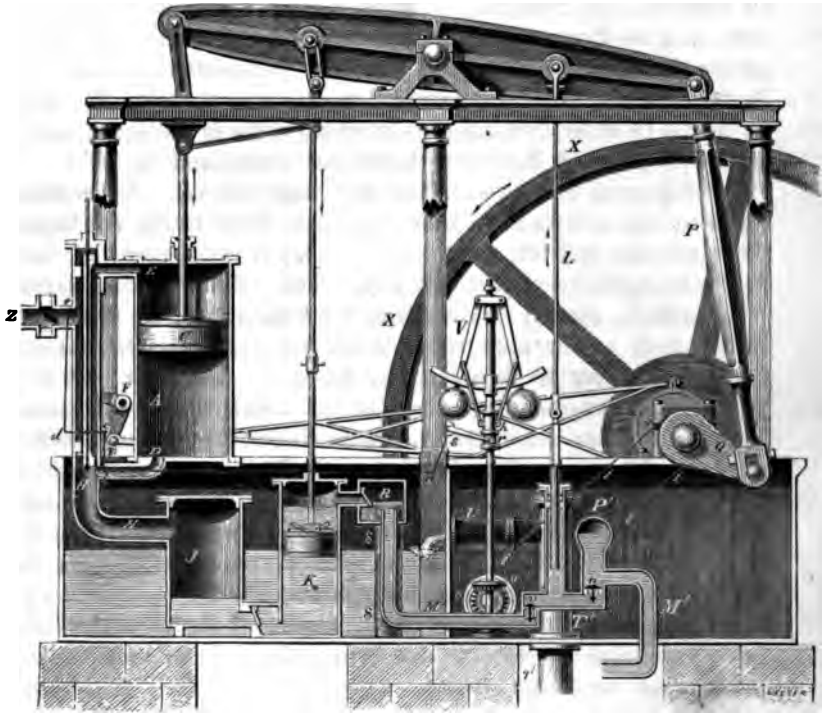
nung, die in unſerer Figur nicht ſichtbar iſt, in den Condenſator einſtrömt. Die Menge des hier einſtrömenden Waſſers kann durch einen Hahn nach Bedürfniß vermehrt oder vermindert werden. Durch die Pumpe *K* wird das Waſſer aus dem Condenſator fortgeſchafft. — Bekanntlich iſt in allem Waſſer immer mehr oder weniger Luft abſorbirt, die im Dampfkeſſel frei wird und mit den Waſſerdämpfen den Weg durch die Maſchine in den Condenſator macht. Ebenſo entwickelt ſich Luft aus dem kalten Waſſer, welches in den Condenſator einſtrömt. Die Waſſerdämpfe werden hier verdichtet, während dieſe Luft im gasförmigen Zuſtande bleibt. Dieſe Luft würde ſich nun nach und nach im Condenſator anhäufen und ſo die Erzeugung eines Vacuums auf der einen Seite des Kolbens unmöglich machen, wenn ſie nicht ebenfalls durch die Pumpe *K* fortgeſchafft würde, die eben deshalb auch den Namen der Luftpumpe führt.

Durch die Luftpumpe wird das Waſſer aus dem Condenſator in den Behälter *R* gebracht, aus welchem es größtentheils durch die Röhre *S* abfließt. Die Wärme, welche beim Verdampfen des Waſſers im Keſſel gebunden wurde, wird bei der Verdichtung der Dämpfe im Condenſator wieder frei; dieſe frei werdende Wärme erhöht die Temperatur des in den Condenſator eingeſpritzten kalten Waſſers; das durch die Pumpe *K* nach *R* geſchaffte Waſſer iſt alſo warm; es iſt deshalb vortheilhaft, dieſes Waſſer anſtatt des kalten zur Speiſung des Dampfkeſſels anzuwenden. Das zur Speiſung des Keſſels nöthige Waſſer gelangt durch die Röhre *M* zu einer Pumpe, welche es durch die Röhre *M'* zum Keſſel ſchafft. Dieſe Pumpe wird, wie auch die Luftpumpe, durch die Maſchine ſelbſt in Bewegung geſetzt; die Pumpenſtange *L* iſt nämlich an den Balancier angehängt und wird gehoben, wenn der Kolben *C* niedergeht; niedergedrückt, wenn *C* aufſteigt. Wenn der an der Stange *L* befeſtigte Kolben der Warmwaſſerpumpe in die Höhe geht, ſo öffnet ſich das Saugventil *r*, beim Niedergange des Kolbens öffnet ſich das Ventil *n*.

Auf der andern Seite des Balanciers iſt gerade hinter *L* eine andere

Pumpenſtange angebracht, durch welche kaltes Waſſer in die Röhre T' ge-

Fig. 355.



hoben und durch die U in das Behälter gebracht wird, in welchem der Condenſator ſteht.

Betrachten wir nun, wie die auf- und niedergehende Bewegung des 152
Kolbens C fortgepflanzt wird.

Die Kolbenſtange bewegt ſich luft- und dampfdicht durch die Stopfbüchſe, welche ſich in der Mitte des oberen Deckels des Cylinders befindet; ſie iſt durch ein Syſtem beweglicher Stangen, welches den Namen des Parallelogramms führt, mit dem einen Ende des Balanciers verbunden. Der Zweck dieſes Parallelogramms iſt kein anderer, als eine vollkommen verticale Bewegung der Kolbenſtange zu ſichern, was ganz unmöglich wäre, wenn die Kolbenſtange direct an das Ende des Balanciers befeſtigt wäre; ſie würde in dieſem Falle abwechſelnd etwas links und rechts gezerrt werden, und in Folge deſſen würde die Stopfbüchſe ſo leiden, daß bald der luftdichte Verſchluß aufhören müßte.

Das eine Ende des Balanciers wird durch die Kolbenſtange abwechſelnd auf- und niedergezogen, das andere Ende des Balanciers hat aber ſtets die entgegengeſetzte Bewegung, d. h. wenn der Kolben *C* ſteigt, geht der rechte Arm des Balanciers nieder, und umgekehrt. Die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers wird durch die Treibſtange *P* und die Kurbel *Q* in eine ſtetige kreisförmige Bewegung umgewandelt. Die Achſe der Kurbel *Q* iſt die Hauptachſe der Maſchine, welche in Bewegung geſetzt werden ſoll; um dieſe Axe dreht ſich auch das Schwungrad *X*.

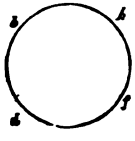
Die Bewegung des Kolbens *C* iſt ſehr ungleichförmig. Da derſelbe am oberen und unteren Ende des Cylinders zur Ruhe kommt und dann ſeine Bewegung umkehrt, ſo iſt begreiflich, daß er ſeinen Lauf nicht mit gleichförmiger Geſchwindigkeit zurücklegen kann. Seine Geſchwindigkeit iſt am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders paſſirt, ſie nimmt um ſo mehr ab, je mehr er ſich einem Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, ſo finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeſchwindigkeit die Bewegung in verticalem Sinne dennoch ſehr veränderlich iſt. Der Kurbelarm ſteht wagerecht, wenn der Kolben *C* ſich in der Mitte des Cylinders befindet, in dieſem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben *C* ſeine höchſte oder tiefſte Stellung hat, ſo bewegt ſich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung iſt der Bewegung des Kolbens ganz gleich, in dem Maaße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geſchwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeſchwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmeſſer der Kurbelbahn iſt begreiflicherweiſe der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich, vorausgeſetzt, daß die beiden Arme des Balanciers gleiche Länge haben; die Länge des Kurbelarms iſt demnach der halben Hubshöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad *X* dient dazu, die Bewegung der Maſchine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, ſo würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibſtange *P* auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken, die eine in der Richtung der Kurbel ſelbſt, als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei; dieſe wird ganz allein durch die andere tangential zur Kurbelbahn wirkende hervorgebracht. Die Größe dieſer beiden Kräfte ändert ſich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical ſteht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieſer Stellung die Maſchine ſtill-

ſtände, ſo würde der größte Druck auf den Kolben ſie nicht in Bewegung ſetzen können; daß alſo die Maſchine, indem ſie in dieſe Stellung kommt, nicht abſolut ſtillſtehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maſchinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortſetzen, gerade ſo wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge ſeiner Trägheit die Bewegung fortſetzt. Hat einmal die Kurbel die verticale Stellung paſſirt, ſo wird derjenige Antheil des durch P fortgepflanzten Druckes, welcher die Umdrehung der Kurbel bewirkt, mehr und mehr wachſen und erreicht ſein Maximum, wenn der Kurbelarm wagerecht iſt. Die Kraft alſo, welche die Kurbel umdreht, variirt beſtändig, während einer ganzen Umdrehung wird ſie zweimal Null, wenn nämlich der Kurbelarm ſeine höchſte und ſeine tiefſte Stellung einnimmt, und zweimal erreicht ſie ein Maximum. Unterſucht man nun die Bewegung, welche durch eine ſo wechſelnde Kraft hervorgebracht wird, ſo ſieht man leicht ein, daß ſie nur eine abwechſelnd beſchleunigte und verzögerte ſeyn kann. Der Kreis Fig. 356 ſtelle die Kurbelbahn vor, ſo ſieht man, daß während der Bewegung von b nach d eine Beſchleunigung erfolgt, weil hier die bewegende Kraft mit der größten Energie wirkt. Die in den Maſchinentheilen gleichſam angehäufte Bewegung muß aber abnehmen, während ſich der Kurbelarm von d bis f bewegt, weil unterdeß die bewegende Kraft ſehr ſchwach, ja ſogar vollkommen Null wird, und alſo die Bewegungshinderniſſe eine Verzögerung bewirken; auf dem Wege von f bis h erfolgt eine neue Beſchleunigung, von h bis b eine Verzögerung.

Fig. 356.



Dieſe Abwechſelungen in der Kurbelbewegung liegen in der Natur der Sache, abſolut können ſie nicht vermieden werden. Die Differenzen zwiſchen der größten und der geringſten Geſchwindigkeit werden aber um ſo kleiner werden, je größer die bewegte träge Maſſe iſt; durch ein hinlänglich großes Schwungrad kann man es dahin bringen, daß dieſe Differenzen in der Umdrehungsgeſchwindigkeit ſo unbedeutend werden, daß ſie keinen nachtheiligen Einfluß mehr haben. Die auf dem Wege von b bis d und von f bis h ſtärker wirkende Kraft kann keine merkliche Vermehrung der Geſchwindigkeit bewirken, weil ſie eine ſehr bedeutende träge Maſſe bewegen muß; weil aber im Schwungrade gleichſam eine bedeutende Bewegungsquantität angehäuft iſt, ſo iſt doch die Abnahme der Bewegungsquantität, während die Kurbel von d bis f oder von h bis b geht, nicht groß genug, um eine merkbare Verminderung der Geſchwindigkeit zu veranlaſſen.

So gleicht das Schwungrad die Ungleichförmigkeit der Bewegung aus, welche in der Einrichtung der Maſchine ſelbſt liegt. Die Arbeit, welche

eine Dampfmaſchine zu verrichten hat, welcher Art ſie auch ſeyn mag, ſetzt nie einen abſolut gleichförmigen Widerſtand der bewegenden Kraft entgegen, und auch dies würde Ungleichförmigkeiten im Gange der Maſchine veranlaſſen, wenn ſie nicht ebenfalls durch das Schwungrad ausgeglichen würden.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerſtand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, ſo iſt die Folge davon, daß der Gang der Maſchine ſchneller oder langſamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden ſchon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerſtandes und der Laſt aber würde bei unverändertem Zufluſſe des Dampfes eine immer zunehmende Beſchleunigung des Ganges der Maſchine zur Folge haben. Damit nun die Geſchwindigkeit nicht über eine gewiſſe Gränze wachſen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe angebracht ſeyn, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger verſperrt wird, je nachdem die Klappe mehr und mehr aus der horizontalen Lage (der vollkommnen Oeffnung) in die verticale (den vollkommnen Verſchluß) übergeht. Die Drehung dieſer Klappe muß aber durch die Maſchine ſelbſt beſorgt werden, und dies geſchieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen des Regulators führt.

Um die Umdrehungsaxe des Schwungrades und um eine verticale Rolle o Fig. 355 iſt eine etwas geſpannte Schnur s geſchlungen, ſo daß die Umdrehung der Hauptaxe die Umdrehung der Scheibe o zur Folge hat. An der Axe der Scheibe o iſt aber ein verticales coniſches Rad befeſtigt, deſſen Zähne in ein ähnliches horizontal ſtehendes eingreifen, ſo daß dieſes horizontale Rad um ſeine verticale Axe umgedreht wird. Dieſe verticale Axe iſt in eine Stange verlängert, an deren oberem Ende das coniſche Pendel V angebracht iſt.

Das coniſche Pendel V beſteht aus zwei ſchweren Kugeln, welche an dem oberen Ende der verticalen Stange ſo befeſtigt ſind, daß bei einer raſchen Umdrehung dieſer Stange die beiden Kugeln vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren. Die Stangen, an welchen die Kugeln hängen, ſind durch die Stäbe mit einer Hülſe h verbunden, welche den verticalen Stab umſchließt. Sobald die Kugeln auseinanderfahren, wird die Hülſe h gehoben. Durch das Heben dieſer Hülſe wird der Winkelhebel rsa um die Axe s gedreht, die Stange ab nach der rechten Seite gezogen, dadurch wird der Winkelhebel bcd um die Axe c gedreht, wodurch endlich die Stange ed niedergezogen wird; e aber iſt der Endpunkt eines Hebelarms, deſſen Drehaxe diejenige Axe iſt, um welche ſich die Klappe im Rohre Z dreht; durch das Niederziehen des Punktes e wird die Klappe verſchloſſen. Das ganze Hebelſyſtem, von welchem ſo eben die

Rede war, iſt in unſerer Figur nur durch Linien angedeutet, weil es ſich auf der Vorderſeite der Maſchine befindet, alſo hier eigentlich gar nicht ſichtbar iſt, indem unſere Figur einen Durchſchnitt der Maſchine darſtellt.

Das Drehen des Vierweghahns oder das Auf- und Niederziehen des 153
Schieberventils, kurz die Bewegung derjenigen Apparate, welche dazu dienen, den Dampf abwechſelnd in den oberen oder in den unteren Theil des Cylinders zu führen, muß durch die Maſchine ſelbſt verrichtet werden. Die Vorrichtung, welche dieſe Bewegung hervorbringt, wird mit dem Namen der Steuerung bezeichnet.

Der wichtigſte Theil der äußeren Steuerung iſt die excentriſche

Fig. 357.

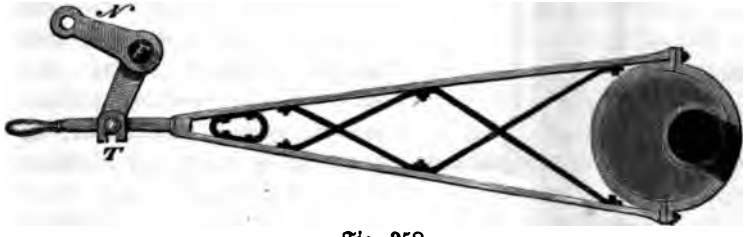
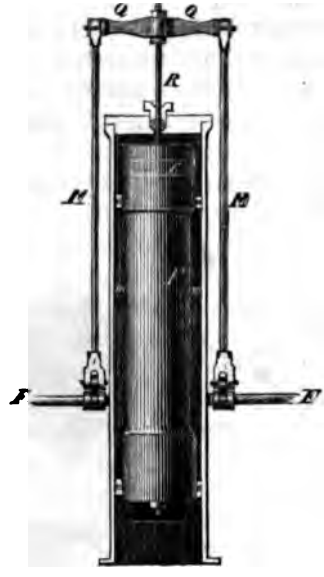


Fig. 358.

Scheibe, welche in Fig. 355 mit *y* bezeichnet iſt. Die excentriſche Scheibe iſt eine kreisförmige Scheibe, welche an der Axe des Schwungrades befeſtigt iſt, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Umdrehung zuſammenfällt, wie man aus Fig. 357 deutlicher ſehen kann. Während jeder Umdrehung der Axe beſchreibt der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe einen Kreis. Um den Umfang der excentriſchen Scheibe iſt nun ein Ring gelegt, der ſich nach der einen Seite in ein Geſtänge verlängert, deſſen Ende bei *T* in einen Hebelarm eingreift, der um eine feſte Axe *F* drehbar iſt. Die Entfernung des Mittelpunktes der excentriſchen Scheibe von *T* iſt unveränderlich, während einer ganzen Umdrehung der Hauptaxe muß alſo der Hebelarm *FT* aus der Lage Fig. 357 in die Lage Fig. 358 und zurückkommen, die Sehne des Bogens, welche auf dieſe Weiſe den Punkt *T* beſchreibt, iſt aber offenbar dem Durchmeſſer des Kreiſes gleich, welchen der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe beſchreibt.

Die Axe F geht durch die ganze Breite der Maſchine durch, wie man dies deutlicher aus Fig. 359 ſieht, wo dieſe Axe in ihrer ganzen Länge erſcheint. An dieſer Axe ſind zwei vollkommen gleiche und parallele Hebelarme N befeſtigt, welche ſich zu beiden Seiten des Behälters befinden, in welchem das Schieberventil eingeſchloſſen iſt. In Figur 357 ſieht man nur den einen derſelben, und zwar in ſeiner wahren Geſtalt, in Fig. 359 aber beide verkürzt. An jedem dieſer beiden Hebelarme iſt eine vertical nach oben gerichtete Stange M befeſtigt, und oben ſind dieſe durch eine horizontale Querſtange Q verbunden, an deren Mitte die Stange R hängt, die das Schieberventil trägt. Dieſe Stange geht luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchſe in das Behälter des Schieberventils. Die Bewegung des Hebelarms N bewirkt durch die Stangen M eine abwechſelnde Hebung und Senkung der Querſtange Q, wodurch dann auch das Schieberventil auf- und niedergezogen wird.

Fig. 359.

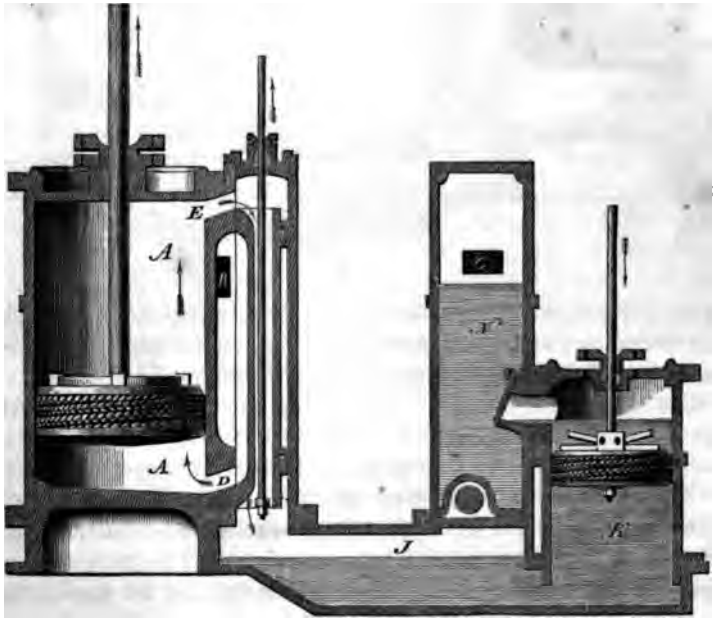


Damit die Bewegung des Schiebkaſtenventils immer in der richtigen Beziehung zum Gange der Maſchine ſteht, muß ſich der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe entweder gerade auf derſelben Seite von der Hauptaxe befinden wie die Kurbel, oder ihr diametral gegenüberſtehen. Letzteres iſt gewöhnlich der Fall, ſo auch bei der Fig. 355 abgebildeten Maſchine. Wenn der Kurbelarm nach oben gerichtet iſt, liegt alſo der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe unter der Hauptaxe; wenn der Kurbelarm nach der linken Seite ſteht, befindet ſich jener Mittelpunkt auf der rechten Seite u. ſ. w. Betrachten wir die Maſchine in einem Momente, in welchem der Kurbelarm gerade horizontal und nach der rechten Seite hin gerichtet iſt, ſo hat der Punkt T, Fig. 355, ſeine äußerſte Stellung links erreicht, das Schieberventil hat aber ſeine höchſte Stellung, der Dampf ſtrömt alſo durch die vollkommen freie Oeffnung in den Cylinder ein. Fragen wir aber nach der Stellung, welche der Kolben C, Fig. 357, in dieſem Momente hat, ſo finden wir, daß er nach unten gehend gerade die Mitte des Cylinders paſſirt. Je mehr der Kolben niedergeht, deſto mehr ſteigt der Kurbelarm,

dabei wird aber auch die excentriſche Scheibe gedreht, der Punkt T alſo nach der rechten Seite hingezogen. Anfangs iſt dieſe Bewegung unbedeutend, ſie nimmt aber zu, je mehr ſich der Kurbelarm der verticalen Stellung nähert. Hat er dieſe erreicht, ſo ſteht auch der Hebelarm FT, Fig. 357, vertical, das Schieberventil hat gerade ſeine mittlere Stellung, es verſchließt die beiden Oeffnungen D und E, und der Kolben iſt gleichzeitig unten angekommen. Bei fortgeſetzter Bewegung beginnt der Kolben alsbald langſam zu ſteigen, der Kurbelarm bewegt ſich mehr nach der linken, die excentriſche Scheibe ſammt dem Punkte T alſo mehr nach der rechten Seite, das Schieberventil geht alſo noch weiter nieder, Dampf beginnt in den unteren Theil des Cylinders einzutreten und den Kolben aufwärts zu treiben u. ſ. w. Kurz, wir ſehen, die Oeffnungen E und D ſind nur einen Moment vollkommen frei, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders paſſirt, wo er alſo auch die größte Geſchwindigkeit hat. Je mehr die Geſchwindigkeit abnimmt, deſto mehr werden die Oeffnungen D und E geſperrt, und ein vollkommner Verſchluß findet in dem Augenblicke Statt, in welchem der Kolben gerade im oberſten oder unterſten Endpunkte ſeines Weges angelangt iſt.

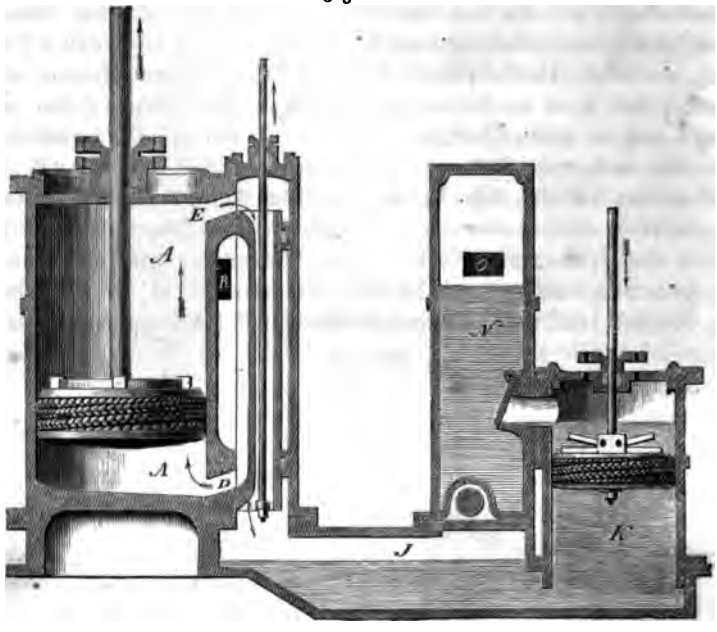
154 Die Schiffsdampfmaſchine iſt im Weſentlichen ganz nach denſelben Principien conſtruirt, wie die eben betrachtete Watt'ſche Maſchine. Fig. 360 ſtellt den Durchſchnitt einer gewöhnlichen Schiffsdampfmaſchine dar.

Fig. 360.



Der Dampf kommt durch eine Röhre, die bei *R* in einen neben dem Cylinder befindlichen Raum mündet. Aus dieſem Raume bringt der Dampf abwechſelnd in den oberen und den unteren Theil des Cylinders *A*. Dieſe Abwechſelung im Einſtrömen des Dampfes wird durch ein Schieberventil bewerkſtelligt, deſſen Einrichtung der auf Seite 405 betrachteten ganz ähnlich iſt. Bei der in unſerer Figur dargeſtellten Stellung des Schieberventils tritt der Dampf unten bei *D* in den Cylinder, während der oberhalb des Kolbens befindliche Dampf, bei *E* austretend, durch die

Fig. 361.



innere Höhlung des Schieberventils nach dem Condenſator *I* entweicht. Das Waſſer aus dem Condenſator wird durch die Luftpumpe *K* in den Raum *N* geſchafft, aus welchem es durch die Oeffnung *O* abfließt.

Was den äußeren Bau der Schiffsmaſchine betrifft, ſo iſt eine Verſchiedenheit von der bisher betrachteten Maſchine dadurch bedingt, daß die Hauptaxe, auf welche die Bewegung des Kolbens übertragen werden ſoll, die Axe der Schaufelräder iſt, deren unterer Theil nur in das Waſſer eingetaucht ſeyn darf. Die Axe dieſer Räder muß ſich deshalb in einer namhaften Höhe über dem Waſſerſpiegel befinden. Wollte man aber den Balancier und die Treibſtange ſo anbringen, wie bei der gewöhnlichen

Watt'ſchen Maſchine, ſo käme dieſe Axe zu tief zu liegen. Deshalb iſt hier der Balancier unten angebracht und die Treibſtange nach oben gerichtet.

Fig. 362 zeigt eine Schiffsdampfmaſchine im Aufriſſe, Fig. 363 im

Fig. 362.

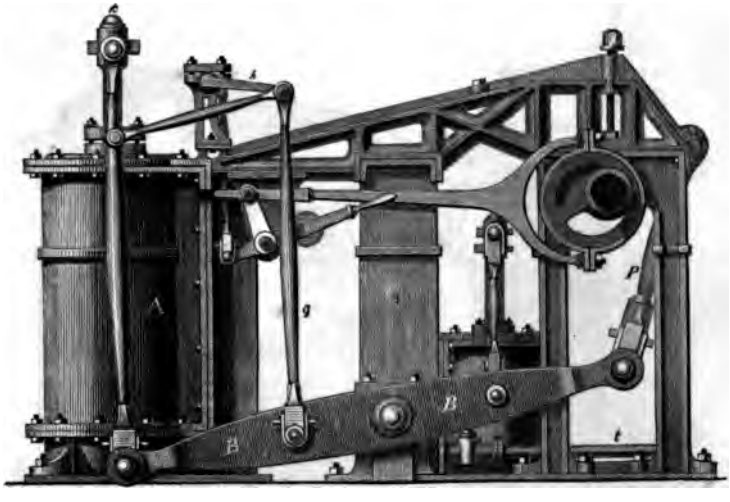
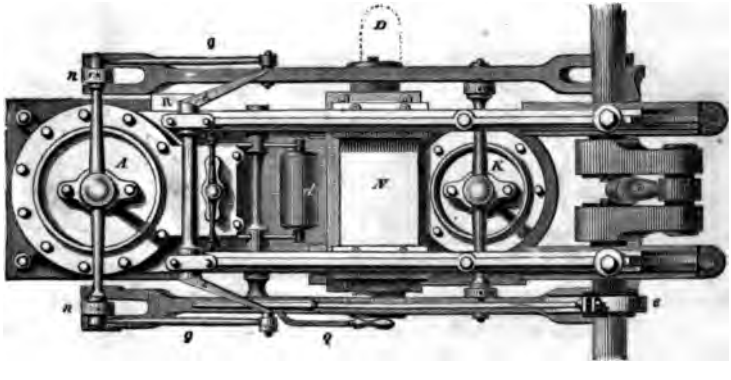


Fig. 363



Grundriſſe. *A* iſt der Cylinder. Das obere Ende der Kolbenſtange iſt an einem horizontalen Querſtabe ungefähr ſo befeſtigt, wie die Stange *R* an *Q*, Fig. 359. Dieſe Querſtange iſt im Grundriſſe Fig. 363 ihrer ganzen Länge nach zu ſehen. Von den beiden Enden dieſer Querſtange geht auf

jeder Seite des Cylinders eine Stange nieder, gerade ſo wie zu beiden Seiten der Stange Q, Fig. 359, die beiden Stangen M hängen. Im Grundriſſe ſind nur die oberen Enden der Stangen n ſichtbar, im Aufriſſe aber ſieht man nur die vordere derſelben. Die Stangen g und h dienen

Fig. 364.

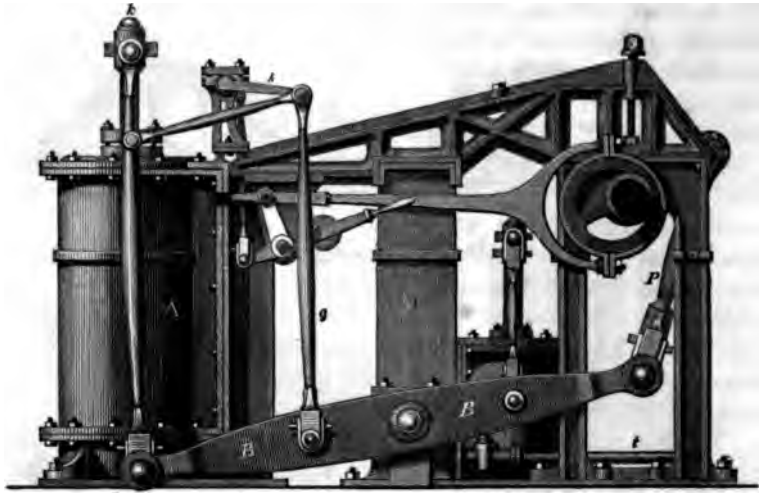
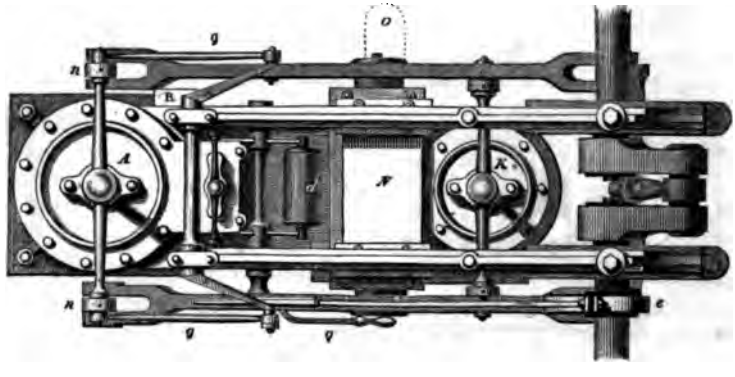


Fig. 365.



nur dazu, um die verticale Bewegung der Kolbenſtange zu ſichern.

Der Balancier B iſt unten angebracht, und zwar befindet ſich auf jeder Seite der Maſchine ein ſolcher Balancier, wie man im Grundriſſe ſieht. Die beiden Balanciers drehen ſich beide um dieſelbe Axe, welche durch die

Maſchine hindurchgehend auch im Durchſchnitte Fig. 361 ſichtbar iſt. An jeder Seite hat der Balancier ein gabelförmiges Ende, in welchem auf der linken Seite die Stangen *n* befeſtigt ſind, ſo daß das Auf- und Niedergehen der Stange *n* das linke Ende des Balanciers ebenfalls abwechſelnd auf- und niederzieht.

Die Enden auf der rechten Seite der beiden Balanciers ſind durch einen ſtarken Querhügel verbunden, in deſſen Mitte die nach oben gerichtete Treibſtange *P* befeſtigt iſt, deren Eingreifen in die Kurbel namentlich aus dem Grundriſſe deutlich zu erſehen iſt. Die Axe *a*, welche durch die Kurbel umgedreht wird, iſt die Axe der Schaufelräder.

An der Axe *a* iſt, wie man im Aufriſſe ſieht, die excentriſche Scheibe befeſtigt, welche das Auf- und Niedergehen des Schieberventils ganz in der Weiſe bewirkt, wie wir bei der Watt'ſchen Maſchine geſehen haben. Die Stange der excentriſchen Scheibe greift in einen Hebelarm ein, welcher um eine feſte Axe drehbar iſt. Wie ſich dieſe Bewegung um dieſe zum Schieberventil fortpflanzt, iſt bekannt. Man ſieht aber in unſerm Grundriſſe an der Axe noch zwei Hebelarme befeſtigt, welche einen Cylinder *d* tragen. Dieſer Cylinder iſt nur ein Gegengewicht gegen die auf der andern Seite der Axe hängende Laſt des Schieberventils.

Die Stange des Kolbens der Luftpumpe *K* trägt oben ebenfalls einen horizontalen Querſtab, von welchem zu beiden Seiten Stangen vertical heruntergehen, die am Balancier befeſtigt ſind, ſo daß die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers die Pumpe in Bewegung ſetzt.

Durch die Röhre *t*, Fig. 364, fließt das Waſſer in den Condenſator; durch einen Hahn, welcher in der Figur deutlich zu ſehen iſt, kann man den Waſſerzufluß reguliren.

Das Waſſer aus *N* fließt durch die Röhre *D* ab, welche Fig. 365 punktirt iſt, weil, wenn ſie ausgeführt wäre, dadurch die Axe des Balanciers verdeckt würde.

In der Regel ſtehen auf Schiffen zwei ſolcher Maſchinen neben einander, welche an derſelben Axe arbeiten, ihr Gang iſt aber ſo regulirt, daß in der einen der Kolben die Mitte des Cylinders paſſirt, während der Kolben in der andern oben oder unten ankommt, daß alſo die Kurbel der einen Maſchine eine verticale Stellung hat, während die Kurbel der andern wagerecht ſteht. Der Grund davon iſt leicht einzuſehen.

Man hat auch Schiffsdampfmaſchinen ohne Balancier gebaut. Bei dieſen ſteht der Cylinder nicht aufrecht, ſondern ſchräg, ſo daß ſeine Axe mit der Horizontalen einen Winkel von 20 bis 25 Grad macht. Denkt man ſich die Axe des Cylinders dieſer Maſchinen verlängert, ſo trifft dieſe Verlängerung die Umdrehungsaxe der Schaufelräder. Die Treibſtange verbindet unmittelbar die Kolbenſtange mit der Kurbel, wie dies

auch bei der Locomotive der Fall iſt, die wir bald werden kennen lernen.

Schon Savary machte den Vorſchlag, mittelſt des durch ſeine Maſchine gehobenen Waſſers ein Waſſerrad in Bewegung zu ſetzen, welches wieder die Schaufelräder eines Schiffes umdrehen ſollte. Jonathan Hull wollte durch eine Newkomen'ſche Maſchine ein Schiff in Bewegung ſetzen; ſein Project, von dem jedoch auch nicht viel Erfolg zu erwarten war, kam nicht zur Ausführung. Als Watt die Dampfmaſchine vervollkommnet hatte, baute Perrier im Jahre 1775 ein Dampfſchiff, deſſen Maſchine nur eine Pferdekraft hatte, und mit welchem er auf der Seine nur ſtromabwärts und zwar äußerſt langſam fahren konnte. Der Gedanke wurde wieder aufgegeben. Glücklicher war der Marquis von Jouffroy, der 1781 zu Lyon ein großes Dampfſchiff baute, um die Saone zu befahren. Seine Verſuche würden höchſt wahrſcheinlich zu einem günſtigen Reſultate geführt haben, wäre er nicht durch die Revolution, welche ihn auszuwandern nöthigte, an ſeinem Unternehmen gehindert worden.

Mit beſſerem Erfolge wurde der Gedanke in Amerika verfolgt. Nachdem daſelbſt, ſo wie auch in England, mehrere erfolgloſe Verſuche gemacht worden waren, war beſonders Robert Livingſton bemüht, dieſe Idee in großem Maaßſtabe auszuführen. Sein erſter Verſuch fiel ungünſtig aus. Im Jahre 1803 kam er als Geſandter der Vereinigten Staaten nach Paris, wo er ſich mit Robert Fulton, gleichfalls einem Nordamerikaner, verband. Fulton hatte ſchon früher der franzöſiſchen Regierung die Erbauung eines Dampfſchiffes vorgeſchlagen und baute 1803 ein ſolches, mit welchem er die Seine hinabfuhr. Da man auf ſeine Vorſchläge nicht einging, ſo kehrte er nach Amerika zurück. Im Jahre 1807 baute er ein großes Dampfſchiff, Clermont genannt, welches durch eine Dampfmaſchine von 20 Pferdekräften, die in der Fabrik von Bulton und Watt verfertigt war, getrieben wurde. In 32 Stunden legte dieſes Schiff mit 160 Tonnen Ladung den 120 engl. Meilen weiten Weg von New-York nach Albany zurück. Seit dieſem ſo gelungenen Verſuche hat ſich die Dampfſchifffahrt immer mehr ausgebreitet und vervollkommnet. —

155 In den bis jetzt betrachteten Maſchinen war der Condenſator ein weſentlicher Theil. Betrachten wir nun, welchen Einfluß die Weglaſſung des Condenſators haben wird? Wenn auf der einen Seite des Kolbens Dampf von einer Atmoſphäre Spannkraft wirkt, der Theil des Cylinders aber, welcher auf der andern Seite des Kolbens liegt, nicht mit dem Condenſator, ſondern mit der freien Luft in Verbindung ſteht, ſo iſt der Druck des Dampfes auf der einen Seite dem Drucke der atmoſphäriſchen Luft auf

der andern Seite des Kolbens gleich, es ist also keine Bewegung möglich. Um eine solche hervorzubringen, muß die Spannkraft des Dampfes gesteigert werden. Gesetzt, sie sey gleich dem Drucke von zwei Atmosphären geworden, so wird der Effect gerade derselbe seyn, als ob auf der einen Seite des Kolbens ein leerer Raum wäre und auf der andern Seite Dampf von einer Atmosphäre Spannkraft drückte; die Hälfte der gesammten Dampfkraft geht also zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verloren. Hätte der wirkende Dampf eine Spannkraft von drei, vier, fünf u. s. w. Atmosphären, so würde ohne Condensator $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, u. s. w. der gesammten Dampfkraft zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verloren gegangen seyn. Je größer also die Spannkraft des Dampfes ist, welcher in der Maschine wirkt, ein desto geringerer Antheil der gesammten Dampfkraft geht, wenn man keinen Condensator anwendet, zur Ueberwindung des Luftdruckes verloren. Wenn also der Dampf, welcher die Maschine treiben soll, nur eine Spannkraft von einer Atmosphäre oder etwas mehr hat, so ist der Condensator ganz unentbehrlich; ist aber die Spannkraft des wirkenden Dampfes größer, so kann die Maschine auch ohne Condensator gehen, und zwar ist der Vortheil, den der Condensator noch bringt, um so geringer, je größer die Spannkraft der wirkenden Dämpfe ist. Nun aber verzehren die Widerstände, welche bei der Bewegung der Condensatorpumpe (Luftpumpe) zu überwinden sind, auch einen Theil der Dampfkraft. Bei einer gewissen Größe des Dampfdruckes also wird der Vortheil, welchen der Condensator gewährt, durch die Widerstände in der Luftpumpe wieder aufgehoben; es ist also in diesem Falle ganz gleichgültig, ob man einen Condensator anwendet, oder nicht. Bei Maschinen, die durch stärker gespannten Dampf getrieben werden, würde also der Condensator mehr Nachtheil als Vortheil bringen; man läßt ihn deshalb in diesem Falle ganz weg.

Gewöhnlich nennt man Dampfmaschinen, welche mit einem Condensator arbeiten, Niederdruckmaschinen, diejenigen aber, bei welchen der Condensator fehlt, heißen Hochdruckmaschinen.

Durch das Wegbleiben des Condensators und der Luftpumpe sind die Hochdruckmaschinen weit einfacher als die Niederdruckmaschinen, und um gleichen Effect hervorzubringen, sind die Dimensionen der ersteren immer kleiner als die letzteren; denn der Gesammtdruck eines Dampfes von 4 Atmosphären Spannkraft auf eine Fläche von 1 Quadratfuß ist ja eben so groß als der Gesammtdruck eines Dampfes von 1 Atmosphäre Spannkraft auf einer Fläche von 4 Quadratfuß. Aus diesem Grunde wendet man die Hochdruckmaschinen überall da an, wo es darauf ankommt, eine Maschine von bedeutender Kraft auf einen kleinen Raum zu bringen.

Eine der bekanntesten und interessantesten Hochdruckmaschinen ist die Locomotive, wie sie auf unseren Eisenbahnen gebraucht wird. Eine

Fig. 366.

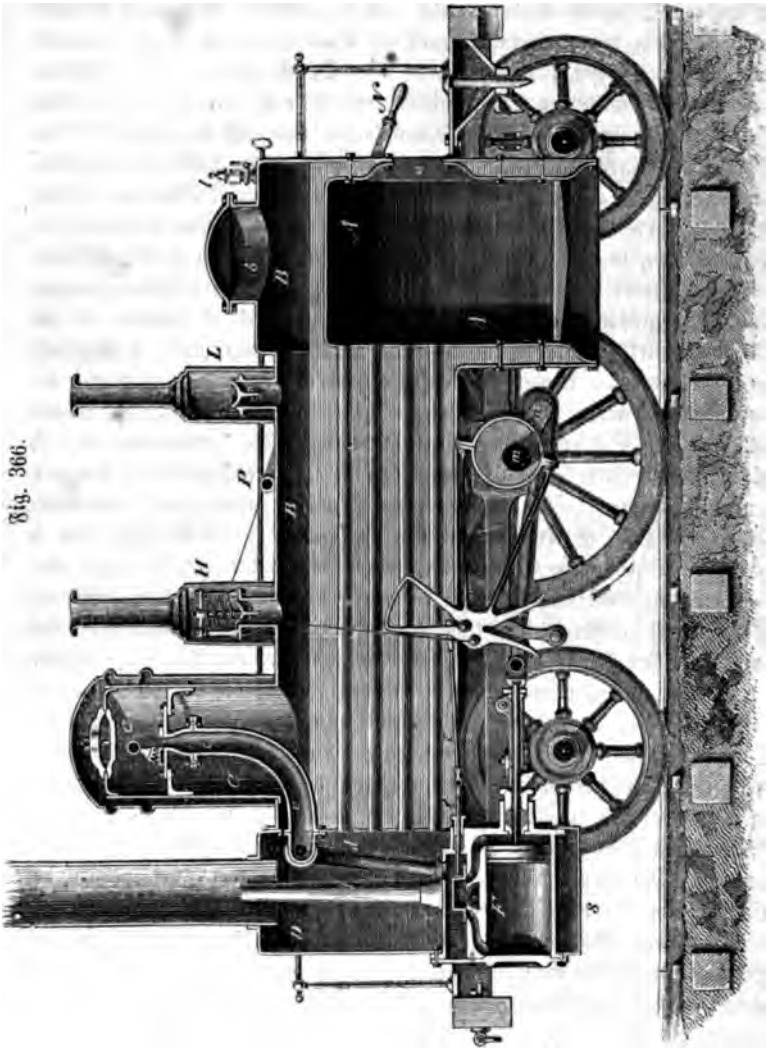
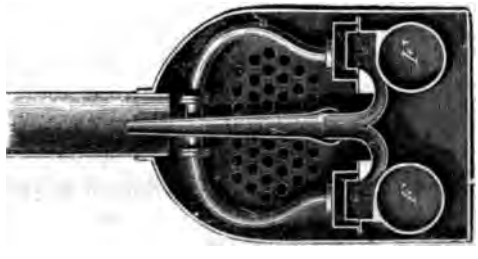


Fig. 367.



ſolche Locomotive iſt Fig. 366 dargeſtellt. *A* iſt der Feuerraum. Das Brennmaterial wird durch die Oeffnung *a*, die durch eine Thür geſchloſſen werden kann, auf den Roſt geworfen. Von dem Feuerraume *A* iſt aber für die erhitzte Luft kein Ausweg als eine Reihe horizontaler Röhren, welche nach *A* und *D* führen; von *D* geht die erhitzte Luft mit dem Rauche durch den Schornſtein in die Höhe. In Fig. 367 ſieht man, wie die Röhren neben und über einander liegen. Dieſe Röhren gehen nun mitten durch einen mit Waſſer angefüllten Raum; außerdem iſt der Feuerraum ſelbſt von allen Seiten mit Waſſer umgeben. Durch die außerordentlich große Feuerfläche, mit welcher auf dieſe Weiſe das Waſſer in Berührung iſt, bildet ſich in jedem Augenblicke eine bedeutende Dampfmenge. Die Dämpfe ſammeln ſich über dem Waſſer in dem mit *B* und *C* bezeichneten Raume; von *C* werden ſie durch die Röhre *c* dem Cylinder zugeführt. Läge die Mündung der Röhre *c* tief, ſo würde durch das heftige Kochen viel Waſſer mechaniſch in die Röhre *c* und von da in die Cylinder mit fortgeriſſen werden. Um dies zu verhindern, iſt der Dampfraum bei *C* erhöht. Die Röhre *c* theilt ſich bald in zwei andere, *d* und *d'*, wie man dies deutlich aus Fig. 367 ſieht. In Fig. 366 iſt nur eine dieſer Röhren, nämlich *d*, ſichtbar. Jede führt zu einem Behälter *i*, aus welchem der Dampf in die Cylinder *F* tritt. Auf jeder Seite des Wagens liegt ein Cylinder, wie man Fig. 367 ſieht, von dieſen Cylindern iſt in Fig. 366 nur der eine, nämlich der vordere, ſichtbar. Er iſt hier im Längendurchſchnitte dargeſtellt, die Durchſchnittsfläche aber fällt nicht mit der der ganzen übrigen Figur zuſammen, ſondern liegt vor derſelben. Die Cylinder liegen horizontal, und der Kolben ſammt den Kolbenſtangen gehen in einer horizontalen Richtung hin und her. Von dem Behälter *i*, in welches der Dampf durch die Röhren *c* und *d* geleitet wird, gehen zwei Kanäle zu dem einem und dem andern Ende des Cylinders. Auf der unteren Gränzfläche des Behälters *i* wird ein Schieber hin und her bewegt, deſſen mittlerer Theil einen Kaſten *o* bildet, welcher nach unten offen iſt. In der Stellung, welche Fig. 366 zeigt, ſind durch dieſen Schieber beide Kanäle verſchloſſen. Denken wir uns denſelben ſo weit links geſchoben, daß der Kanal links nicht mehr verſchloſſen iſt, ſondern in die Höhlung *o* mündet, ſo würde der Kanal rechts mit dem Dampfbehälter *i* in Verbindung ſtehen; bei dieſer Stellung des Schiebers alſo würde der Dampf auf der rechten Seite in den Cylinder eintreten, alſo den Kolben nach der linken treiben, während der Dampf von der linken Seite des Kolbens durch den Kanal links in den Kaſten *o* und von da durch die Röhren *p* und *q* in den Schornſtein gelangt. Wenn aber der Schieber ſeine äußerſte Stellung rechts hat, ſo ſtrömt der Dampf von *i* durch den Kanal links in den Cylinder, und auf der andern Seite entweicht er durch den Kanal rechts in den Kaſten.

Fig. 369.

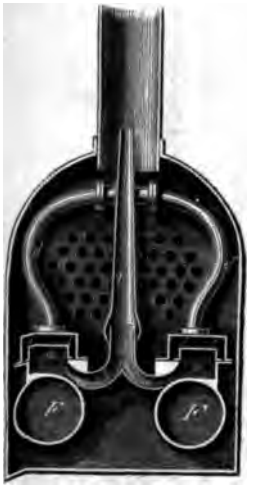
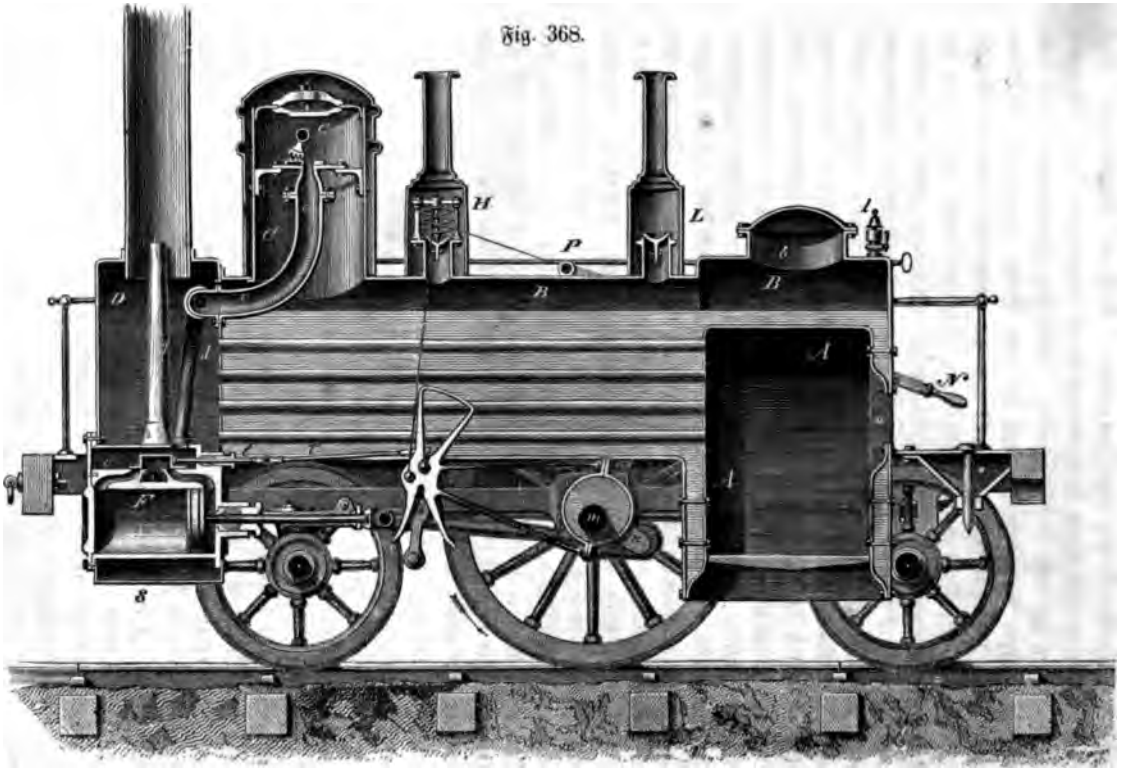


Fig. 368.



Die Kolbenſtange iſt durch ſogenannte Couliſſen feſtgehalten, d. h. ſie iſt durch dieſelben verhindert, von ihrer Bahn abzuweichen, ſo daß ſie nur in einer und derſelben geraden Linie hin- und hergehen kann. An der Kolbenſtange iſt unmittelbar die Treibſtange befeſtigt, welche die Kurbel *n* um die Axe *m* umdreht. An der Axe *m* ſind aber auch die mittleren Räder des Wagens befeſtigt, ſo daß alſo durch jeden Hin- und Hergang des Kolbens eine ganze Umdrehung des Rades erfolgt; bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens geht alſo der Wagen um eine Strecke weiter, welche dem Umfange der mittleren Räder gleich iſt.

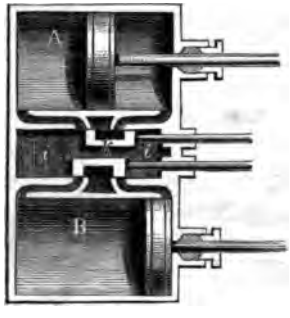
An der Axe *m* iſt auch die excentriſche Scheibe befeſtigt, durch welche der Schieber im Behälter *i* bewegt wird. Wie wir in unſerer Figur ſehen, greift das ungefähr X förmige Ende des am Ringe der excentriſchen Scheibe befeſtigten Geſtänges am oberen Ende eines Hebels ein, deſſen Stützpunkt bei *s* iſt. Durch die Bewegung dieſes Hebels werden aber auch die daran befeſtigten Stangen *t* und durch dieſe der Schieber hin und her gezogen.

H und *L*, Fig. 368, ſind Sicherheitsventile, *l* iſt ein Pfeifchen, welches zu Signalen dient.

Die Schieberſteuerung iſt bei den neueren Locomotiven anders eingerichtet, als es in Fig. 368 gezeichnet iſt, weshalb auch ſtatt dieſer älteren Einrichtung die jetzige, zu deren Erläuterung Fig. 371 und Fig. 372 auf folgender Seite dienen, näher beſchrieben werden ſoll.

Die Schieber ſind bei den neueren Locomotiven nicht über, ſondern neben den Cylindern angebracht, wie man dies Fig. 370 ſieht. *i* iſt ein Raum in der Mitte zwiſchen den beiden Cylindern, und in dieſen Raum tritt zunächſt der Dampf ein. An der rechten und linken Seitenwand dieſes Raumes bewegen ſich die Vertheilungsſchieber, welche zu den beiden Cylindern gehören.

Fig. 370.



In dem Cylinder *A* iſt der Kolben gerade in der Mitte ſeines Weges, der Schieber *k* ſteht ſo, daß der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, alſo den Kolben nach der rechten Seite hin treibt. Dieſelbe Stellung des Schiebers iſt auch Fig. 371 dargeſtellt, in welcher man den Schieber *k* ſeiner ganzen Breite nach ſieht, wie er von *B* aus erſcheint. Links von *k* erſcheint die Oeffnung, durch welche der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, als eine dunkle Spalte.

Der Schieber iſt an einer Stange befeſtigt, deren anderes Ende zwiſchen zwei concentriſchen eiſernen Bogen *h* gefaßt iſt, welche den Namen der Hängtaſche führen.

Am oberen Ende der Hängtaſche iſt die Stange der excentriſchen Scheibe *l*, am unteren Ende derſelben iſt die Stange der excentriſchen Scheibe *p* befeſtigt.

Die beiden excentriſchen Scheiben ſind dicht nebeneinander, ihre Mittelpunkte aber ſtehen diametral gegenüber, ſo daß der eine rechts von der Hauptaxe *m* hängt, wenn der andere auf der linken Seite hängt; wenn *p* oben iſt, iſt *l* unten u. ſ. w., wenn alſo die Stange von *l* nach der rechten Seite geht, ſo geht die von *p* nach der linken, kurz das obere Ende der Hängtaſche wird immer entgegengeſetzt dem unteren Ende bewegt.

Wenn die Hängtaſche die Stellung Fig. 371 hat, ſo wird der Schieberſtange die Bewegung des oberen Endes der Hängtaſche mitgetheilt, der

Fig. 371.

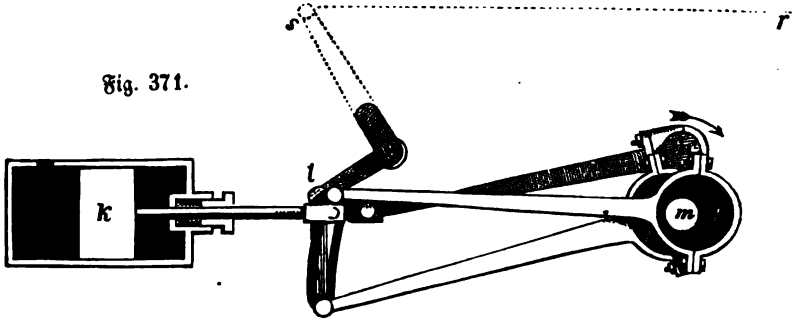
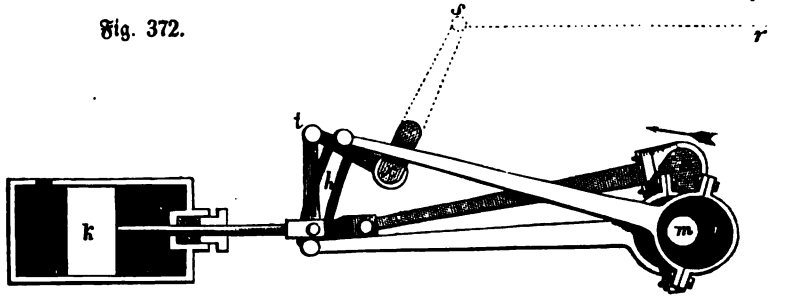


Fig. 372.



Schieber wird alſo durch die excentriſche Scheibe *l* geführt; wird aber die Hängtaſche in die Höhe gezogen, ſo daß ſie die Stellung Fig. 372 bekommt, ſo wird dadurch die Führung des Schiebers der excentriſchen Scheibe *p* übertragen, und dadurch die Richtung, nach welcher ſich die Räder drehen, umgekehrt.

Betrachten wir näher, wie es zuſammenhängt, daß durch Aufziehen der Hängtaſche die Richtung, in welcher ſich die Räder drehen, umgekehrt wird.

In Fig. 371 ſowohl als in Fig. 372 ſteht die Kurbel *n* gerade nach Oben, der Kolben ſteht alſo gerade in der Mitte des Cylinders.

Die excentriſche Scheibe *l* hat gerade ihre äußerſte Stellung auf der rechten Seite, und da bei der Stellung der Hängtaſche, wie ſie Fig. 371 dargeſtellt iſt, die Führung des Schiebers durch *l* geſchieht, ſo hat auch der Schieber die äußerſte Stellung rechts, folglich iſt der links in den Cylinder führende Kanal frei, der Dampf tritt auf der linken Seite in den Cylinder ein, der Kolben wird nach der Rechten getrieben, die Kurbel bewegt ſich alſo in der Richtung des Pfeils Fig. 371.

Wird nun bei unveränderter Stellung des Kolbens und der Kurbel die Hängtaſche in die Höhe gezogen, ſo iſt nun die Stellung des Schiebers *k* durch die excentriſche Scheibe *p* bedingt, da aber *p* ſeine äußerſte Stellung links hat, ſo wird durch Aufziehen der Hängtaſche der Schieber nach der linken geſchoben, ſo daß, wie man Fig. 372 ſieht, der nach der rechten Seite in den Cylinder führende Kanal frei wird, der Dampf ſtrömt jetzt auf der rechten Seite in den Cylinder, treibt den Kolben nach der linken, die Kurbel wird alſo jetzt in der Richtung des Pfeils Fig. 372 gedreht, welche der Drehungsrichtung von Fig. 371 entgegengeſetzt iſt.

Die Hängtaſche hängt an den Winkelhebel *sxt*, deſſen Drehpunkt bei *x* iſt; wird dieſer Winkelhebel durch Ziehen an der Stange *rs* aus der Stellung Fig. 371 in die Fig. 372 gebracht, ſo wird dadurch die Hängtaſche gehoben; vermittelſt des Winkelhebels *sxt* kann man alſo die Führung des Schiebers nach Belieben der einen oder der anderen excentriſchen Scheibe übertragen, folglich nach Belieben die Bewegung umſetzen.

Der Effect, welchen eine Dampfmaſchine hervorzubringen im Stande 156
iſt, die Kraft der Maſchine, hängt von der Waſſermenge ab, die in einer gegebenen Zeit im Keſſel in Dampf verwandelt wird; unterſuchen wir deshalb, welche Wirkung 1 Liter Waſſer in Dampfform hervorzubringen im Stande iſt. — Nehmen wir an, die Kolbenfläche betrage 1 Quadratdecimeter, die Höhe des Cylinders (die Hubshöhe) aber ſey 10 Decimeter, ſo iſt der Inhalt des Cylinders 10 Kubikdecimeter oder 10 Liter; um alſo den Kolben von unten bis oben zu treiben, müſſen 10 Liter Dampf aus dem Keſſel in den Cylinder übergehen. Wenn nun der Dampf eine Spannkraft von einer Atmoſphäre hat, ſo iſt der Druck, den er auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ausübt, ungefähr 1 Kilogramm, der Geſammtdruck auf den ganzen Kolben beträgt demnach 100 Kilogramme; wenn alſo gar keine Bewegungshinderniſſe vorhanden wären, ſo könnte

man den Kolben mit 100 Kilogrammen belaſten, und dieſe 100 Kilogramme würden 10 Decimeter hoch gehoben, wenn man 10 Liter Waſſerdampf von 100 Grad in den Cylinder führt. Der Effect alſo, den 10 Liter Waſſerdampf von 100° hervorbringen können, iſt der Hebung von 100 Kilogrammen auf eine Höhe von 10 Decimetern oder der Hebung von 1000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent. Ein Liter Waſſer giebt aber 1700 Liter Waſſerdampf von 100°, mit 1 Liter Waſſer, in Dampf von 100° verwandelt, kann man alſo einen Effect hervorbringen, welcher der Hebung von 170000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent iſt.

Um die Kraft der Maſchine beſſer überſehen zu können, vergleicht man ſie gewöhnlich mit Pferdekräften. Nimmt man an, daß ein Pferd in 1 Secunde eine Laſt von 750 Kilogrammen 1 Decimeter hoch heben könne (in der That ergiebt ſich aus den beſten Beobachtungen über die Arbeit der Pferde, daß ſie bei zweckmäßigſter Verwendung ihrer Kräfte bei andauernder Arbeit einen Effect hervorbringen, welcher dem erwähnten äquivalent iſt), ſo würde man ſagen, daß eine Maſchine, in welcher in jeder Secunde ſo viel Dampf erzeugt wird, als nöthig iſt, um 750 Kilogramme 1 Decimeter (oder 500 Pfund 1 Fuß) hoch zu heben, eine Dampfmaſchine von 1 Pferdekraft ſey.

Nun kann aber der Waſſerdampf, welcher aus 1 Liter Waſſer erhalten wird 170000 Kilogramme 1 Decimeter hoch heben; wenn alſo im Keſſel 1 Liter Waſſer in $\frac{170000}{750}$, alſo in 226 Secunden verdampft wird, ſo iſt der Totaleffect, den dieſer Dampf in der Maſchine hervorbringen kann, einer Pferdekraft gleich. Eine ſolche Maſchine verzehrt alſo in einer Stunde ungefähr 15 Liter Waſſer.

Pambour hat darauf aufmerkſam gemacht, daß in der Berechnung der Kraft der Dampfmaſchinen häufig dadurch Fehler gemacht werden, daß man den Druck des Dampfes gegen den Kolben der Maſchine gleich demjenigen annimmt, welchen das Manometer des Keſſels angiebt. Die Spannung des Dampfes im Keſſel iſt faſt immer höher als im Cylinder.

Nicht alle mechaniſche Kraft des Dampfes kann aber als Nutzeffect angeſchlagen werden. Sehr viel geht verloren, weil der Kolben nicht gegen einen abſolut leeren Raum drückt, weil die Reibung des Kolbens überwunden werden muß, weil mehrere Pumpen in Bewegung geſetzt werden müſſen u. ſ. w. Alle dieſe Wiederſtände verringern den Nutzeffect der Maſchine faſt auf die Hälfte des oben berechneten.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaſchinen durch Anwendung der Expanſion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch

hervorgebracht wird, daß der Zufluß des Dampfes aus dem Dampfkeſſel in den Cylinder abgeſperrt wird, wenn der Kolben erſt einen Theil ſeines Weges, etwa $1/2$, $2/3$ u. ſ. w. zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expanſionsprincips bei gleichem Dampfverbrauch ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt ſich durch folgende einfache Betrachtung einſehen.

In einen Dampfcylinder ſtröme während des ganzen Kolbenhubs, wie dies bei gewöhnlichen Maſchinen der Fall iſt, Dampf ein, deſſen Spannkraft wir zu 2 Atmoſphären annehmen wollen, ſo iſt am Ende des Kolbenhubs der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmoſphären Spannkraft gefüllt, und während dieſes Kolbenhubs iſt ein mechaniſcher Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denſelben Cylinder Dampf von doppelter, alſo von 4 Atmoſphären Spannkraft eintreten, ſo würde der Druck gegen den Kolben doppelt ſo groß ſeyn, und der mechaniſche Effect E würde ſchon hervorgebracht worden ſeyn, wenn der Kolben erſt den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen iſt. Wird nun in dieſem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgeſperrt, ſo wird der Kolben die übrige Hälfte ſeines Weges fortſetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende ſeiner Bahn ankommt, ſo iſt die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmoſphären.

Da ſchon während der erſten Hälfte des Kolbenhubs der mechaniſche Effect E hervorgebracht worden iſt, ſo iſt der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubs hervorbringt, während er ſich alſo ſo ausdehnt, daß ſeine Spannkraft von 4 Atmoſphären bis zu 2 Atmoſphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubs den Cylinder erfüllt, iſt gerade eben ſo groß, als ob während des ganzen Kolbenhubs Dampf von 2 Atmoſphären Spannkraft angeſtrömt wäre.

Die Abſperrung des Dampfes wird gewöhnlich durch einen beſondern Expanſionsſchieber bewirkt. Bei den gewöhnlichen Maſchinen ſtrömt der Dampf aus dem Keſſel direct in die Kammer, in welcher ſich der Vertheilungsſchieber bewegt, um den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Kolbens treten zu laſſen; wir wollen dieſe Kammer a nennen.

Bei den Expanſionsmaſchinen befindet ſich aber vor dieſer gewöhnlich noch eine zweite Kammer b; in der Wand zwiſchen b und a befindet ſich eine Oeffnung, durch welche der Dampf aus b in a eintreten kann; dieſe Oeffnung wird oben durch einen zweiten in b befindlichen Schieber in den gehörigen Momenten geöffnet und geſchloſſen. Die Bewegung

dieſes Expanſionsſchiebers wird meiſt durch eine gehörig geſtellte excentriſche Scheibe ganz in der Weiſe bewirkt, wie die Bewegung des Vertheilungsſchiebers.

Fünftes Kapitel.

Speciſiſche Wärme der Körper.

157 **Mittel die Wärmemengen zu vergleichen.** Wir nehmen als einen für ſich ſelbſt einleuchtenden Grundſatz an, daß ſtets dieſelbe Wärmemenge nöthig ſey, um dieſelbe Wirkung hervorzubringen. Wenn z. B. ein Kilogramm Eiſen von 10^0 durch irgend eine Urſache bis zu einer Temperatur von 11^0 erwärmt wird, ſo iſt dazu immer eine und dieſelbe Wärmemenge nöthig, mag die Wärme nun von der Sonne oder von einem Heerde kommen, mag ſie durch Berührung oder durch Strahlung dem Eiſen mitgetheilt werden. Ebenſo wird ſtets dieſelbe Wärmemenge nöthig ſeyn, um 1 Kilogramm Eis von 0^0 zu ſchmelzen, und ſo iſt denn auch ſtets eine beſtimmte Quantität von Wärme nöthig, um 1 Kilogramm Waſſer von 100^0 zu verdampfen. Die Wärmemengen müſſen aber auch dem Gewichte der Subſtanzen proportional ſeyn, auf welche ſie wirken, um einen beſtimmten Effect hervorzubringen, d. h. um die Temparatur von 100 Kilogrammen Eiſen von 10^0 auf 11^0 zu erhöhen; um 100 Kilogrammen Eis zu ſchmelzen oder 100 Kilogrammen Waſſer zu verdampfen, hat man eine 100mal größere Wärmemenge nöthig, als wenn man dieſelben Effecte nur an 1 Kilogramm dieſer Subſtanzen hervorbringen wollte.

Eine Subſtanz hat eine größere oder geringere *Wärmecapacität*, je nachdem eine größere oder geringere Wärmemenge nöthig iſt, um eine beſtimmte Temperaturveränderung, etwa eine Temperaturerhöhung von 1^0, hervorzubringen; die dazu nöthige Wärmemenge aber nennt man die *ſpecifiſche Wärme* dieſer Subſtanz. Zwei Körper haben gleiche Wärmecapacitäten, wenn ſie bei gleichem Gewichte derſelben Wärmemenge bedürfen, damit ihre Temperatur um 1^0 erhöht wird; dagegen iſt die Wärmecapacität des einen Körpers 2mal, 3mal und 4mal ſo groß als die des andern, wenn dazu eine 2-, 3-, 4mal größere Wärmemenge nöthig iſt.

Ein und derſelbe Körper kann eine *veränderliche Wärmecapacität* haben, was z. B. beim Platin der Fall iſt, welches eine größere Wärmemenge bedarf, um von 100^0 auf 101^0 erwärmt zu werden, als

wenn man seine Temperatur von 0^0 auf 1^0 erhöhen will. Die Wärmecapacität des Wassers dagegen ist constant, weshalb man sie auch zur Einheit gewählt hat.

Aus diesen Definitionen geht hervor, daß ein Körper, dessen Gewicht m und dessen Wärmecapacität c ist, bei einer Temperaturerhöhung oder einer Temperaturerniedrigung von t^0 eine Wärmemenge aufnimmt oder verliert, welche durch das Product mct ausgedrückt ist.

Um die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, hat man drei verschiedene Methoden befolgt, nämlich die Methode des Eisschmelzens, die Mischungsmethode und die Erkaltungsmethode.

Calorimeter von Lavoisier und Laplace. In Fig. 373 ist ein 158
Durchschnitt dieses Instrumentes dargestellt, welches aus drei Gefäßen von Eisenblech besteht, von denen das größte das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefäße ist mit Eisstücken gefüllt; und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fließt durch den Hahn d ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefäße ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fließt durch den Hahn e ab.

Fig. 373.

Wenn man nun in den innersten Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn e abfloß, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten Körpers kennt, wenn man ferner weiß, wie viel Eis durch die von ihm abgegebene Wärme geschmolzen wurde, so kann man leicht die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Ein Beispiel mag dies erläutern: gesetzt, man habe eine auf 100^0 erwärmte eiserne 2 Kilogramme schwere Kugel in das Calorimeter gebracht, so würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0^0 abgegebene Wärme ungefähr 293 Milligramme Eis geschmolzen haben. Nun aber haben wir gesehen, daß die Wärme, welche 1 Kilogramm Wasser von 79 Graden abgiebt, um auf 0^0 zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu schmelzen; hätte man also 2 Kilogramme Wasser von 79^0

Iſt die ſpecifiſche Wärme eines erhitzten Körpers bekannt, ſo kann man nach dieſer Formel, wie Pouillet gezeigt hat, aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwaſſer beim Ablöſchen deſſelben erleidet, die Temperatur berechnen, welche er hatte, denn nach dieſer Formel iſt

$$t' = \frac{mt}{m'c}.$$

Nehmen wir an, man hätte eine 200 Gramm ſchwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, ſie dann in einer Waſſermaſſe von 1000 Gramm abgelöſcht, und dadurch wäre die Temperatur des Waſſers von 13° auf 20°, alſo um 7° erhöht worden, ſo haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die ſpecifiſche Wärme des Platins $c = 0{,}033$, ſo ergiebt ſich

$$t' = \frac{1000.7}{2000\,.\,0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heißen Platinkugel wäre demnach 1061° über 20°, alſo 1081°, geweſen. Dieſes Reſultat iſt jedoch nur eine erſte Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die ſpecifiſche Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, ſieht man, daß für eine Temperatur von 1000°, und das iſt ja, wie wir aus der erſten Näherungsrechnung ſehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die ſpecifiſche Wärme des Platins gleich 0,0373 iſt. Dieſen Werth haben wir alſo für c in obige Gleichung zu ſetzen, und dann ergiebt ſich

$$t' = \frac{1000.7}{200\,.\,0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

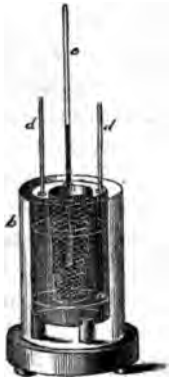
Die Temperatur der Platinkugel war demnach $938 + 20 = 958°$. Auf dieſe Weiſe kann die Kenntniß der ſpecifiſchen Wärme zur Beſtimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieſer Methode die Temperatur des ſchmelzenden Eiſens gleich 1500 bis 1600°.

Wenn dieſe Methode brauchbare Reſultate geben ſoll, ſo muß die Waſſermaſſe ſo groß ſeyn, daß ſie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körpers nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luftmaſſe erwärmt wird; dann aber muß man auch die Temperaturerhöhung des Gefäßes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäß von Kupferblech und n Gramm ſchwer, ſo iſt klar, daß zu einer beſtimmten Temperaturerhöhung dieſes Gefäßes eben ſo viel Wärme nöthig iſt, als um die Temperatur einer $n\,.\,0{,}095$ Gramm ſchweren Waſſermaſſe um eben ſo viel Grade zu erhöhen, weil die ſpecifiſche Wärme des Kupfers 0,095 von der des Waſſers iſt. Man kann allgemein ſagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm ſchweren Gefäßes erfordert eben ſo viel Wärme wie eine

gleiche Temperaturerhöhung einer $n.c$ Gramm ſchweren Waſſermaſſe, wenn c die ſpecifiſche Wärme der Gefäß-Subſtanz bezeichnet.

Die Fig. 375 ſtellt den Apparat dar, welchen Pouillet zur Beſtimmung der ſpecifiſchen Wärme des Platins anwandte; a iſt ein Gefäß von dünnem Kupferblech, welches auf einer Holzplatte ſteht, die durch drei Korkſtücke getragen wird; b iſt ein ähnliches Gefäß, welches das erſtere umgiebt und welches Luftſtrömungen und zufällige Temperaturveränderungen von demſelben abhält. Der Deckel des inneren Gefäßes hat in der Mitte ein großes Loch und trägt ein Körbchen von dünnem Kupferdraht, in welches der abzukühlende Körper hineingeworfen wird. Die Temperaturerhöhung des Waſſers wird an dem Thermometer e abgeleſen. Am unteren Ende der Stäbchen d iſt eine ringförmige dünne Scheibe befeſtigt, welche auf und nieder bewegt wird, um die Wärme im Waſſer möglichſt gleichförmig zu vertheilen und die Abkühlung des eingebrachten Körpers möglichſt zu beſchleunigen; in dieſer Scheibe muß natürlich außer der großen Oeffnung in der Mitte noch ein kleines Loch gemacht ſeyn, durch welches das Thermometer hindurchgeht. Wenn der heiße Körper in das Waſſer hineingeworfen worden iſt, ſo iſt er ſchon nach 30 bis 40 Sekunden gänzlich abgekühlt, denn in dieſer Zeit hat das Thermometer e das Maximum ſeiner Temperaturerhöhung erreicht.

Fig. 375.



Man muß mehrere ſolcher Apparate von verſchiedener Größe haben, damit man ſtets einen ſolchen wählen kann, daß die Temperaturerhöhung des Kühlwaſſers höchſtens 4 bis 5^0 beträgt. Je größer die Maſſe des abzulöſchenden Körpers und je höher ſeine Temperatur iſt, deſto größer muß natürlich die Maſſe des Kühlwaſſers ſein.

Die neueſten und genaueſten Verſuche über die ſpecifiſche Wärme hat Regnault, und zwar nach der Methode der Miſchung, angeſtellt. Er erwärmte die zu unterſuchenden Körper in einem rin[illegible]um von den Dämpfen des kochenden Waſſers umgebenen Raume und hatte die Einrichtung getroffen, daß ſie aus dieſem Raume unmittelbar in das Kühlwaſſer herabgelaſſen werden konnten. Für ſolche Körper, die im Waſſer löslich ſind, wandte Regnault ſtatt deſſelben Terpentinöl als Abkühlungsflüſſigkeit an, nachdem er zuvor die ſpecifiſche Wärme des Terpentinöls beſtimmt hatte.

Methode des Erkaltens. Wenn ein erwärmter Körper in ei- 160
nen Raum gebracht wird, in dem er nur durch Wärmeſtrahlung erkalten

kann, ſo wird er unter übrigens gleichen Umſtänden um ſo langſamer erkalten, je größer ſeine ſpecifiſche Wärme iſt. Darauf gründete zuerſt Mayer ein Verfahren, um die ſpecifiſche Wärme der Körper zu ermitteln; ſpäter haben Dulong und Petit nach dieſer Methode die ſpecifiſche Wärme einer Reihe von Körpern mit großer Sorgfalt beſtimmt.

Der Apparat, den ſie anwandten, iſt Fig. 376 dargeſtellt. Er beſteht aus einem bleiernen Behälter a, welches luftleer gemacht wird. In der Mitte des Deckels befindet ſich eine metallene Hülſe c, in welche ein Thermometer d eingekittet iſt, deſſen cylindriſches Reſervoir ſich in der Mitte eines kleinen ſilbernen Gefäßes e befindet, wie man dies deutlicher in Fig. 377 ſieht. Dieſes ſilberne Gefäß iſt an Fäden aufgehängt und enthält die zum Verſuch beſtimmte Subſtanz. Wenn dieſer Körper ein feſter iſt, ſo wird er gepulvert und das Pulver feſt in das ſilberne Gefäß hineingedrückt, ſo daß das Reſervoir des Thermometers ganz von dem Pulver umgeben und das Silbergefäß ganz ausgefüllt iſt. Das Silbergefäß wird nun mit der darin enthaltenen Subſtanz 15 bis 20° erwärmt und in das bleierne Gefäß a hineingebracht, welches ſelbſt in ein Waſſerbad von conſtanter Temperatur eingetaucht iſt. Nun wird das Gefäß a luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig iſt, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Waſſerbades um 10° überſteigt, um 5° fällt.

Fig. 376.

Fig. 377.

Wenn nun die ſilberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausſtrahlt, ſo iſt offenbar der Wärmeverluſt, welchen die ganze Maſſe während der Temperaturerniedrigung von 5° erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieſer Erkaltung nöthig iſt.

Geſetzt nun, für irgend eine Subſtanz ſey dieſe Zeit gleich z, für eine andere ſey ſie z', ſo verhalten ſich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m', c und c' die Gewichte und Wärmecapacitäten der beiden Körper ſind, ſo ſind die Wärmemengen, welche ſie während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgeben, $5mc$ und $5m'c'$, man hat alſo

$$\frac{mc}{m'c'} = \frac{z}{z'}$$

und danach läßt ſich das Verhältniß der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muß man, wenn die Rechnung genaue Reſultate geben ſoll, auch noch die von der Silberhülle ſelbſt und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

Regnault hat gezeigt, daß dieſe Methode keine ganz zuverläſſigen Reſultate geben kann, weil ſie vieles vorausſetzt, was nicht bewieſen iſt; ſie ſetzt nämlich voraus, daß das Erkalten durch alle Parthieen der Subſtanz gleichmäßig vor ſich geht und daß alle Subſtanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an die Silberhülle abgeben.

Reſultate der Verſuche über die ſpecifiſche Wärme. Die Be- 161
ſtimmung der ſpecifiſchen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem ſie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die ſpecifiſche Wärme eines Elements mit ſeinem Atomgewichte multiplicirt, ſtets denſelben Werth habe. So fanden ſie z. B. die ſpecifiſche Wärme des Eiſens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieſes Metalls iſt aber 339,2, und das Product dieſer beiden Größen iſt gleich 37,31. Multiplicirt man die ſpecifiſche Wärme des Kupfers 0,0949 mit ſeinem Atomgewichte 395,7, ſo erhält man das Product 37,55, einen Werth, welcher mit dem für das Eiſen gefundenen faſt vollkommen übereinſtimmt. Ebenſo fand ſich, daß dieſes Product für alle metalliſchen Elemente faſt genau denſelben Werth habe, es ſchien alſo das Geſetz begründet zu ſeyn, daß die ſpecifiſche Wärme der metalliſchen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional ſey.

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderm Wege gefundenen Atomgewichte zu controlliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo Dulong und Petit dieſe Arbeiten ausführten, noch nicht ſo feſt beſtimmt, als jetzt; oft hatte man für denſelben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Geſetze am beſten harmonirende.

Später wurden die Atomgewichte auf anderm Wege genauer beſtimmt, aber das Dulong'ſche Geſetz ſtellte ſich dadurch nicht noch evidenter heraus, im Gegentheil ergaben ſich Abweichungen, welche dem Geſetze gerade zu widerſprechen ſchienen. So erhält man z. B. für das Product der ſpecifiſchen Wärme des Kobalts, wie ſie von Dulong und Petit beſtimmt worden war, nämlich 0,1498, und des von Berzelius beſtimmten Atomgewichts dieſes Metalls, nämlich 369, das Product, 55,28.

Dieſer Umſtand war es beſonders, welcher Regnault veranlaßte, die ſpecifiſche Wärme der Elemente noch einmal genau zu unterſuchen. Vorerſt war eine Ausmittelung der ſpecifiſchen Wärme derjenigen Sub-

ſtanzen nöthig, welche zur Conſtruction der Apparate dienten. Regnault fand

die ſpecifiſche Wärme des Meſſings 0,09391
» » » Glaſes 0,19768
» » » Terpentinöls 0,42593
» » » Queckſilbers 0,03332

Die folgende Tabelle enthält die Endreſultate ſeiner Verſuche über die ſpecifiſche Wärme feſter Elemente, die in chemiſch reinem Zuſtande unterſucht wurden, neben denen von Dulong und Petit.

Name der Subſtanz.	Gefundene ſpecif. Wärme.	Specif. Wärme nach Dulong u. Petit.	Atomgewicht nach Berzelius.	Von Regnault angenommenes Atomgewicht.	Product aus der ſpecif. Wärme in das letztere.
Eiſen	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zink	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Kupfer	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Kadmium . . .	0,05669		696,77	696,77	39,502
Silber	0,05701	0,0557	1351,6	675,80	38,527
Arſenik	0,08140	0,081 A	470,04	470,04	38,261
Blei	0,03140	0,0293	1294,5	1294,5	40,647
Wismuth . . .	0,03084	0,0288	886,92	1330,4	41,028
Antimon	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,944
Zinn	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Nickel	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Kobalt	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platin	0,03243	0,0314	1233,5	1233,5	39,993
Palladium . . .	0,05927		665,00	665,90	39,468
Gold	0,03244	0,0298	1243,0	1243,0	40,328
Schwefel	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Selen	0,08370		494,58	494,58	41,403
Tellur	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Jod	0,05412	0,089 A	789,75	798,75	42,703

Die in der dritten Columne mit A bezeichneten Zahlen ſind von Avogadro beſtimmt worden.

Dieſe Verſuche Regnault's entfernen nun wieder die Zweifel über die Richtigkeit des Dulong'ſchen Geſetzes. Um dieſes Geſetz mit völliger Schärfe zu beweiſen, müßten die Zahlen der letzten Columne unter ſich vollkommen gleich ſeyn, was nicht der Fall iſt; dieſe Zahlen ſchwanken

zwiſchen 38 und 42, eine Differenz, welche für die Beobachtungsfehler bei weitem zu groß iſt. Bedenkt man jedoch, daß die Atomgewichte von 200 bis 1400 wechſeln, während die in Rede ſtehenden Producte innerhalb der Gränze 38 bis 42 bleiben, ſo muß man ohne Zweifel das Dulong'ſche Geſetz für ein der Wahrheit ſehr nahe kommendes halten.

Regnault fand ſich veranlaßt, ſtatt der Berzelius'ſchen Atomgewichte in einigen Fällen andere anzunehmen; ſo nimmt er z. B. das Atomgewicht des Silbers um die Hälfte kleiner, was er auch durch den Iſomorphismus des Schwefelſilbers mit dem Schwefelkupfer für gerechtfertigt hält. Für Wismuth nimmt er die früher gebräuchliche Atomzahl 1330 ſtatt der jetzt angenommenen 887 an, wofür auch das ähnliche Verhalten einiger Wismuthverbindungen mit den analogen Antimonverbindungen ſpricht.

Die ſpecifiſche Wärme eines und deſſelben Körpers kann ſich merklich ändern, wenn ſeine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; ſo wird z. B. die ſpecifiſche Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Hartämmern ſeine Dichtigkeit zunimmt; die ſpecifiſche Wärme des ſchmiedbaren Kupfers iſt, nach Regnault, 0,095, die des gehämmeten Kupfers 0,093.

Die ſpecifiſche Wärme des Kohlenſtoffs ändert ſich bedeutend mit dem Dichtigkeitszuſtande. Regnault fand für Holzkohle 0,2415, für Steinkohle 0,2009 und für Diamant 0,1469, die ſpecifiſche Wärme iſt alſo um ſo geringer, je größer die Dichtigkeit iſt.

Daß die ſpecifiſche Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, wie ſchon oben angeführt wurde, erſieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität	
	zwiſchen 0 u. 100°	zwiſchen 0 u. 300°
Eiſen	0,1098	0,1218
Queckſilber . . .	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0335
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Verſuchen iſt die mittlere ſpecifiſche Wärme des Platins

zwiſchen	0°	und	100°	0,03350
»	0	»	300	0,03434
»	0	»	500	0,03518
»	0	»	700	0,03602
»	0	»	1000	0,03728
»	0	»	1200	0,03818

Da die ſpecifiſche Wärme eines und deſſelben Körpers veränderlich iſt, ſo kann die ſpecifiſche Wärme einer Subſtanz auch nur für einen beſtimmten Zuſtand der Dichtigkeit und für eine beſtimmte Temperatur dem Dulong'ſchen Geſetze genügen; wenn alſo die Erfahrung dieſes Geſetz nicht in aller Strenge, ſondern nur annähernd beſtätigt, ſo iſt höchſt wahrſcheinlich der Grund darin zu ſuchen.

Die ſpecifiſche Wärme zuſammengeſetzter Körper iſt von Avogadro, Neumann und Regnault, und zwar von Letzterem am vollſtändigſten, unterſucht worden. Er gelangte durch eine große Reihe von Verſuchen zu dem Satze, daß bei allen zuſammengeſetzten Körpern von gleicher atomiſtiſcher und ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung die ſpecifiſche Wärme im umgekehrten Verhältniſſe der Atomgewichte ſtehe. So iſt z. B. für Oxyde mit 1 Aeq. Sauerſtoff das Product der ſpecifiſchen Wärme und des Atomgewichts gleich 71,9. Für die entſprechenden Schwefelverbindungen iſt dies Product 74,5; für Chlormetalle mit 1 Aeq. Chlor iſt es 117; für die entſprechenden Bromide und Jodide 151 u. ſ. w.

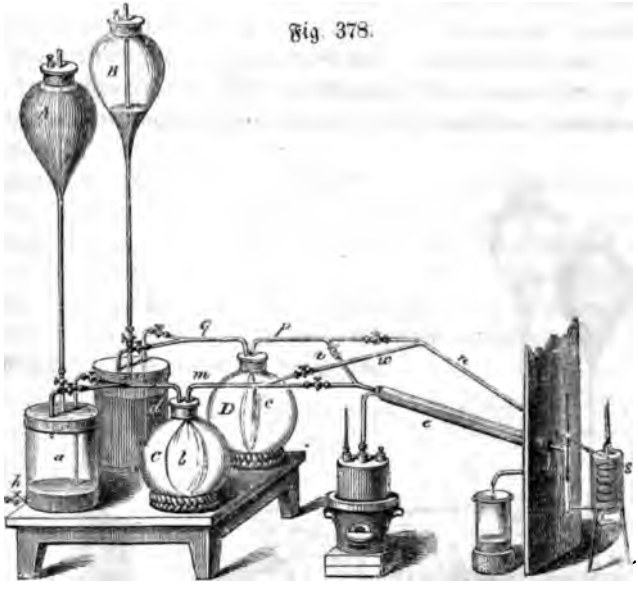
162 **Specifiſche Wärme der Gaſe.** De la Roche und Berard haben über dieſen Gegenſtand eine ſchöne Arbeit ausgeführt, welche von der Akademie der Wiſſenſchaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen ſie zu ihren Verſuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung:

Durch den luftdicht ſchließenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefäßes *a*, Fig. 378, geht eine Röhre vertical in die Höhe, welche oben in ein mit Waſſer gefülltes Gefäß endigt. Das untere Ende dieſer Röhre iſt nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Waſſer aus dem Gefäße *A* in das Gefäß *a* herabfließen. Das Gefäß *A* iſt gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verſchloſſen, durch dieſen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre in das Waſſer des Gefäßes *A* hinab, und in dem Maaße, als unten Waſſer ausfließt, bringen durch das untere Ende *t* dieſer Röhre Luftblaſen in das Gefäß *A* ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefäße *a* mit einer conſtanten Geſchwindigkeit, wie ſie einer Waſſerſäule von *t* bis zur unteren Oeffnung zukommt, ausgetrieben.

Aus dem Gefäße *a* gehen nun zwei Röhren, die ſich zu einer verbinden, nach dem Ballon *C*; die eine dieſer Röhren geht faſt bis auf den

Boden des Gefäßes *a* herab, und dieſe iſt jetzt durch einen Hahn abgeſperrt, durch die andere hingegen ſtrömt die Luft aus dem oberen Theile des Gefä-

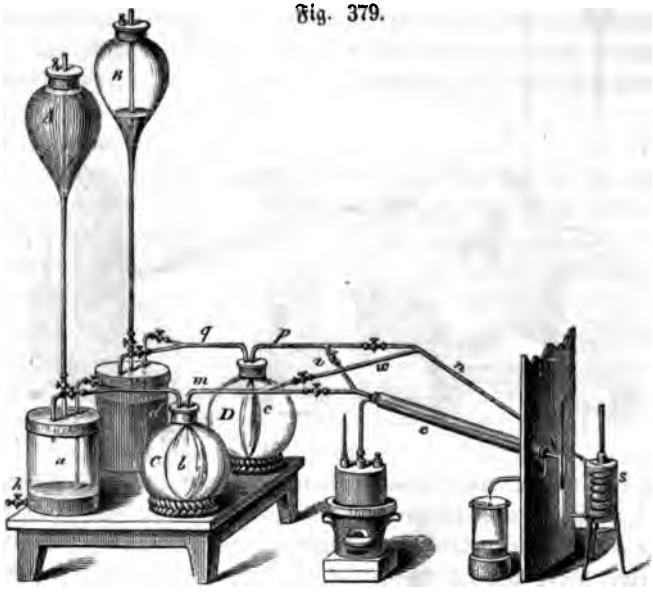
Fig. 378.



ßes *a* nach dem Ballon *C*. In dieſem Ballon hängt nun eine Blaſe *b*, welche mit dem zu unterſuchenden Gaſe gefüllt iſt; aus dieſer Blaſe wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in *C* durch die Röhre *m* in das Schlangenrohr des Calorimeters *s* getrieben, nachdem es zuvor bei *e* in einer Weiſe erwärmt worden iſt, die ſogleich näher beſchrieben werden ſoll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen iſt, wird es durch die Röhren *n* und *p* in die leere Blaſe *c* geleitet, die ſich in dem Ballon *D* befindet. Kurz durch den Druck der Waſſerſäule wird das Gas aus der Blaſe *b* auf einigen Umwegen in die Blaſe *c* hineingepreßt. Wenn ſich aber die Blaſe *c* allmälig mit Gas füllen, wenn ſie ſich ausdehnen ſoll, ſo muß die Luft aus dem Ballon *D* austreten können. In der That führt von *D* eine Röhre *q*, welche ſich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Waſſer gefüllten Gefäße *d*. Der eine dieſer Arme führt zu dem oberen Theile des Gefäßes *d*, und dieſer Arm iſt für jetzt durch einen Hahn verſchloſſen, der andere Arm aber geht faſt bis auf den Boden des Gefäßes *d*. Durch dieſen Arm gelangt die aus *D* herausgepreßte Luft in das Gefäß *d*. In dem Maaße aber, als die Luft aus *D* nach *d* übergeht, fließt das Waſſer aus dem Gefäße *d* durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn *h* am Gefäße *a* entſpricht.

Wenn auf dieſe Weiſe die Blaſe *b* entleert und *c* mit Gas gefüllt iſt, ſo iſt auch *a* mit Waſſer und *d* mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geſchloſſen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geſchloſſenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus *B* herabkommende Waſſer die Luft in *d* und *D* comprimirt, das Gas wird aus der Blaſe *c* durch die Röhren *p* und *v* nach der Erhitzungsſtelle *e* und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt

Fig. 379.



das Gas durch die Röhren *n*, *w* und *m* in die Blaſe *b*; die Luft aus *C* wird nach *a* hinabgepreßt, und das Waſſer aus *a* fließt durch den Hahn *h* ab. Wenn die Blaſe *b* wieder mit Gas gefüllt iſt, werden die Hähne abermals verſtellt u. ſ. w. Auf dieſe Weiſe kann man eine und dieſelbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit conſtantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei *e* iſt das Rohr, durch welches das Gas hindurchſtreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches ſtets mit den Dämpfen von kochendem Waſſer erfüllt iſt. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher es in das Colorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt ſeine Temperatur beim Austritte aus demſelben.

Selbſt wenn kein Gas durch den Apparat hindurchſtrömt, wenn aber doch die Röhre bei *e* durch die Waſſerdämpfe erwärmt iſt, wird dem Ca-

lorimeter eben durch dieſes Rohr ſchon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf dieſe Weiſe das Calorimeter erleidet, muß durch vorläufige Verſuche ausgemittelt werden, damit man ſie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Waſſers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchſtreicht, ſo wird dieſes allmälig erwärmt und nimmt endlich eine conſtante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke ſo viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umſtänden betrug der Ueberſchuß der ſtationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung

für atmoſphäriſche Luft .	15,734°
für Waſſerſtoffgas . .	14,214
für Kohlenſäure . . .	19,800
für Sauerſtoffgas. . .	15,365
für Stickſtoffoxydgas . .	21,246
für ölbildendes Gas . .	24,435
für Kohlenoxydgas . .	16,270

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolumina durch den Apparat hindurchſtreichen, ſo müſſen offenbar die Werthe der ſpecifiſchen Wärme der verſchiedenen Gasarten für gleiche Volumina den eben angegebenen Temperaturüberſchüſſen proportional ſeyn; bezeichnet man demnach die ſpecifiſche Wärme der atmoſphäriſchen Luft mit 1, ſo ergeben ſich für gleiche Volumina der anderen Gaſe aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Waſſerſtoffgas	0,9033
Kohlenſäuregas . . .	1,2583
Sauerſtoffgas	0,9765
Stickſtoffoxydgas . . .	1,3503
Oelbildendes Gas . . .	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

De La Roche und Berard haben die Richtigkeit dieſer Reſultate aber noch auf einem andern Wege beſtätigt. Wenn man der Reihe nach verſchiedene Gaſe mit gleicher Temperatur und unter demſelben Drucke durch das Calorimeter hindurchſtrömen läßt, ſo würden, wenn das Calorimeter

gar keine Wärme an die Umgebung verlöre, die Wärmecapacitäten der Gaſe dem Volumen derſelben proportional ſeyn, welches durch das Schlangenrohr hindurchſtrömen muß, um das Waſſer ſtets um dieſelbe Anzahl von Graden zu erwärmen. Da es aber nun unmöglich iſt, die Erkaltung des Gefäßes zu verhindern, ſo wurde es zu Anfang des Verſuchs unter die Temperatur der Umgebung erkaltet, und der Verſuch beendigt, wenn die Temperatur des Calorimeters eben ſo hoch über der Temperatur der Umgebung ſtand, als ſie anfangs geringer war; ſo nimmt denn der Apparat während der erſten Hälfte des Verſuchs eben ſo viel Wärme aus der Umgebung auf, als er während der zweiten Hälfte abgiebt; man kann Alles ſo betrachten, als ob gar keine Erkaltung ſtattfände. Auf dieſe Weiſe fanden ſie Werthe für die Wärmecapacität der Gaſe, welche mit den oben angeführten ſehr gut übereinſtimmten.

Dieſe Zahlen gaben die ſpecifiſche Wärme gleicher Gasvolumina bei gleichem Drucke; um die ſpecifiſche Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man dieſe Zahlen nur durch das ſpecifiſche Gewicht der Gaſe zu dividiren.

Das Verhältniß der ſpecifiſchen Wärme der Gaſe zur ſpecifiſchen Wärme des Waſſers ergiebt ſich aus den Verſuchen von de La Roche und Berard auf folgende Weiſe.

Bezeichnen wir mit s die conſtante Temperatur des Calorimeters, alſo auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t ſeine Temperatur beim Eintritt, ſo iſt $t-s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchſtreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Maſſe des Gaſes, welches in einer Minute durchſtreicht, und c die ſpecifiſche Wärme deſſelben iſt, ſo iſt offenbar die in 1′ von dem Gaſe an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m'c(t-s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Maſſe des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Waſſers, welches darin enthalten und deſſen ſpecifiſche Wärme gleich 1 iſt, ſammt dem Gewichte des Gefäßes und des Thermometers, multiplicirt mit der ſpecifiſchen Wärme der Subſtanzen, aus denen ſie verfertigt ſind, mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es ſteigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre ſtriche und durch dieſe Röhre nur durch Leitung von ehr Wärme zugeführt würde, ſo iſt $mg(s-r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein conſtanter Factor iſt, welcher ſich leicht beſtimmen läßt, wenn man die Geſchwindigkeit beobachtet, mit welcher das ſich ſelbſt überlaſſene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters conſtant bleibt, iſt die Wärme-

menge, die ihm zugeführt wird, ſtets derjenigen gleich, welche er verliert, man hat alſo

$$m' c (t - s) = m g (s - r),$$

und daraus läßt ſich die Wärmecapacität c des Gaſes, verglichen mit der des Waſſers, berechnen.

Auf dieſe Weiſe beſtimmten die genannten Phyſiker die ſpecifiſche Wärme der atmoſphäriſchen Luft in Beziehung auf das Waſſer; es war alsdann leicht, auch die ſpecifiſche Wärme der anderen Gaſe auf Waſſer zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate der Verſuche von de La Roche und Berard über die ſpecifiſche Wärme der Gaſe bei gleichem Drucke.

Namen der Gaſe.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte.	
		Luft = 1.	Waſſer = 1.
Atmoſphäriſche Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerſtoff	0,976	0,885	0,236
Waſſerſtoff	0,903	12,340	3,294
Stickſtoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,060	0,288
Stickſtofforydulgas . .	1,350	0,888	0,237
Kohlenſäure	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas . .	1,553	1,576	0,421
Waſſerdampf. . . .	1,960	3,136	0,847

Wärmecapacität der Gaſe bei conſtantem Volumen. Wir ha- 163
ben bisher die ſpecifiſche Wärme der Gaſe bei conſtantem Drucke betrachtet, ſie konnten ſich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es iſt aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gaſe bei conſtantem Volumen zu kennen, d. h. zu wiſſen, welche Wärmemenge nöthig iſt, um die Temperatur eines Gaſes zu erhöhen, wenn man ſeine Ausdehnung hindert, wenn alſo durch die Temperaturerhöhung ſeine Spannkraft vermehrt wird.

Die Idee, die Wärmecapacität der Gaſe bei conſtantem Volumen zu ermitteln und ſie mit ihrer Wärmecapacität bei conſtantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmaſſe ſey durch eine Temperaturerhöhung

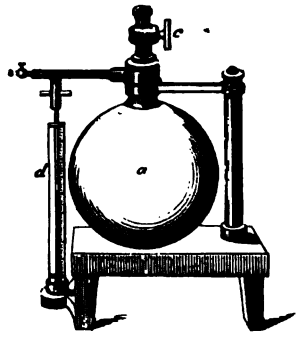
von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun dieſe Luftmaſſe auf ihr urſprüngliches Volumen zuſammengepreßt, ſo erleidet ſie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne daß neue Wärme zugeführt wird, dieſelbe Wärmemenge alſo, welche im Stande iſt, die Temperatur dieſer Luftmaſſe um t Grad zu erhöhen, wenn ſie ſich bei unverändertem Drucke ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung ſtattfinden kann. Die ſpecifiſche Wärme c bei conſtantem Drucke iſt alſo größer als die ſpecifiſche Wärme c' bei conſtantem Volumen, und zwar verhalten ſich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander wie $t + t'$ zu t, es iſt alſo

$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compreſſion der Luft hervorgebracht wird, läßt ſich direct nicht mit Genauigkeit beſtimmen, doch läßt ſich der Werth des Quotienten $\frac{c}{c'}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Deſormes angeſtellten Verſuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter faſſenden Ballon a wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe einer im Manometerrohre d gehobenen Waſſerſäule gemeſſen; nehmen wir an, die Höhe dieſer Waſſerſäule habe 188^{mm} betragen. Nun wurde ein Hahn c geöffnet, der ſo weit war, daß längſtens in $\frac{1}{2}$ Sekunde das Gleichgewicht mit der äußeren Luft wieder hergeſtellt würde, und dann raſch wieder geſchloſſen. Durch das Eindringen der äußeren Luft war die verdünnt geweſene Luft im Inneren des Ballons zuſammengedrückt und in Folge deſſen auch etwas erwärmt worden; wenn man alſo den Apparat ſich ſelbſt überläßt, ſo wird die durch Compreſſion der Luft frei gewordene Wärme ſich allmälig verlieren, und in Folge deſſen wird die Waſſerſäule in d von neuem ſteigen. Als der Apparat bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet war, betrug die Höhe der Waſſerſäule in d 49^{mm}. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compreſſion hervorgebracht wird, verhält ſich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen ſo viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geſchehen war, ſehr nahe wie die Druckhöhen 49 und 188;

Fig. 380.



wenn wir alſo $t' = 49$ und $t + t' = 188$ ſetzen, ſo iſt, $t = 139$, folglich

$$\frac{c}{c'} = \frac{188}{139} = 1{,}35.$$

Dieſes Verfahren kann offenbar nur ein angenähert richtiges Reſultat liefern, weil auch durch die Gefäßwände eine merkliche Wärmemenge weggenommen wird.

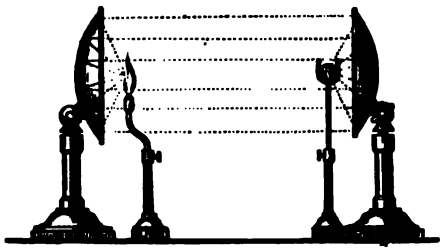
Durch Betrachtungen, die wir hier unmöglich weiter verfolgen können, hat Dulong aus der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalls in der Luft für dieſen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

Sechstes Kapitel.

Fortpflanzung der Wärme.

Exiſtenz der ſtrahlenden Wärme. Die ſtrahlende Wärme durch- 164
dringt gewiſſe Körper in derſelben Weiſe wie das Licht durch die durchſichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenſtrahlen z. B. treffen unſere Erde, nachdem ſie die ganze Atmoſphäre durchdrungen haben, ſie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmeſtrahlen gehen alſo größtentheils durch die Atmoſphäre hindurch, ohne von ihr abſorbirt zu werden. Wenn man ſich dem Feuer eines Ofens nähert, ſo empfindet man eine brennende Hitze, und doch iſt die Luft zwiſchen uns und dem Feuer nicht bis zu einem ſolchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verſchwindet dieſe Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmaſſe eine ſo hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können alſo nach allen Seiten hin Wärme ausſenden, welche durch die Luft hindurchgeht, wie die Lichtſtrahlen durch durchſichtige Körper; man ſpricht deshalb von ſtrahlender Wärme und von Wärmeſtrahlen, wie man von Lichtſtrahlen ſpricht.

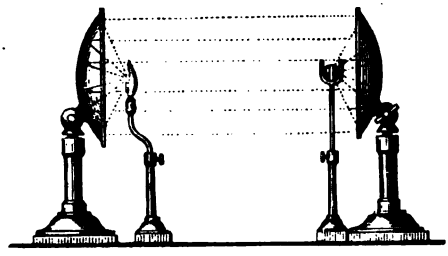
Fig. 381.



Wenn man zwei große ſphäriſche oder paraboliſche Hohlſpiegel von polirtem Meſſingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, ſo aufſtellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zuſammenfallen, wenn man als-

dann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des andern aber eine faſt weißglühende Eiſenkugel oder eine glühende Kohle bringt, deren Verbrennung man durch einen Blaſebalg lebhaft unterhält, ſo wird ſich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieſer Verſuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmeſtrahlen ausſendet, denn es iſt klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet würde, daß die zwiſchenliegenden Luftſchichten allmälig ſo ſtark erhitzt worden wären. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, ſo wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 382.



Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, ſo wird das Thermometer raſch ſteigen; alſo auch die Kugel von 300° ſendet Wärmeſtrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Waſſers oder mit Waſſer von 90°, 80° oder 70° vertauſcht, ſo beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweiſ't aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieſer Temperatur keine Wärme mehr ausſtrahlen, ſondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug iſt. Man muß deshalb empfindlichere Inſtrumente zu Hülfe nehmen, etwa ein Luftthermometer, Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Fig. 383.

Ein Luftthermometer kann man zu dieſem Zwecke etwa ſo conſtruiren, wie Fig. 383 zeigt. Eine Kugel von 3 bis 4 Centimeter Durchmeſſer iſt an dem Ende einer Röhre angeblaſen, deren Durchmeſſer ungefähr 1^{mm} beträgt; dieſe Röhre iſt gekrümmt, wie man in der Figur ſieht, und hat in der Mitte eine zweite Kugel, an ihrem andern Ende einen Trichter, damit die von *c* bis *d* ſtehende Flüſſigkeit weder in die untere Kugel zurückſteigen, noch oben auslaufen kann. Wenn die Demenſionen des Inſtrumentes bekannt ſind, ſo

kann man wohl ungefähr seine Empfindlichkeit berechnen, graduiren kann man es jedoch nicht, weil ja die Flüssigkeit dem atmosphärischen Drucke ausgesetzt bleibt und weil aus der unteren Kugel bald Luft aus-, bald eintritt.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 384, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugel drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Die Stelle, welche der Index einnimmt, wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, ist der Nullpunkt der Theilung. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben, und seine Entfernung von dem Nullpunkte ist der Temperaturdifferenz der beiden Kugeln proportional.

Fig. 384.

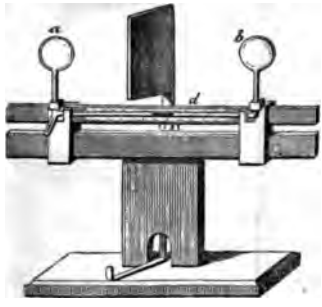
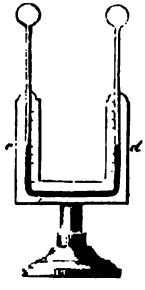
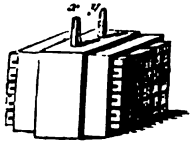


Fig. 385.



Leslie's Differentialthermometer, Fig. 385, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

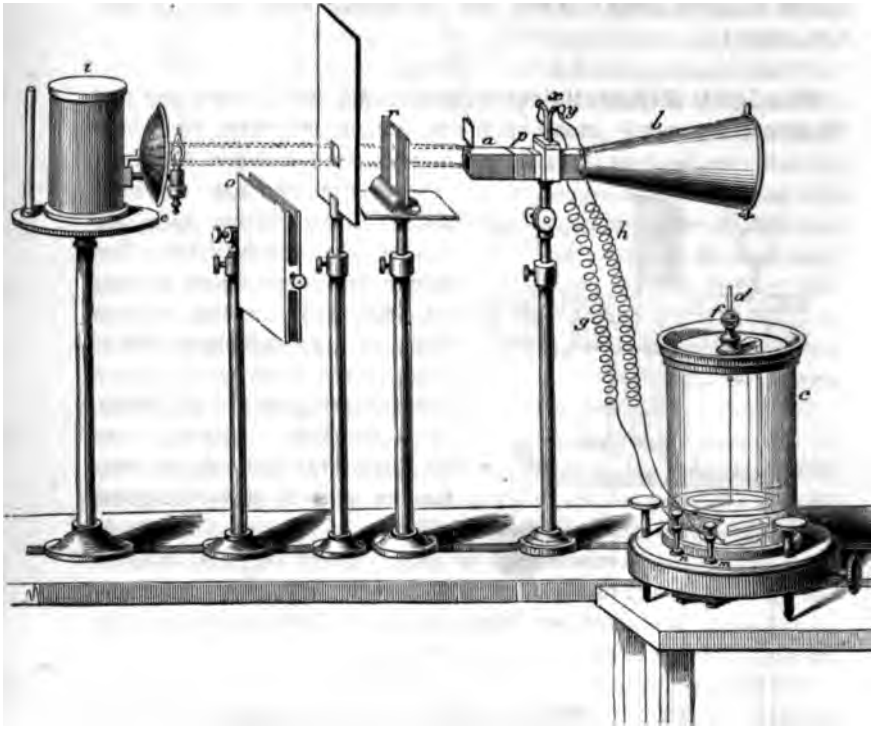
Fig. 386.



Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 386, wie sie schon früher beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, Fig. 387 (a. f. S.), auf ein Stativ gebracht; die Hülsen *a* und *b* dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse *b* conisch ist, so dient sie auch, um von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren, wenn

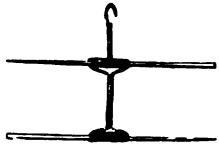
es nöthig iſt. Der Kupferdraht, welcher das Galvanometer bildet, iſt

Fig. 387.



7 bis 8 Meter lang und iſt mit 40 Windungen auf einen Metallrahmen aufgewunden. Die wohl ausgewählten, magnetiſirten und mit Sorgfalt compenſirten Nadeln ſind mit einander verbunden, wie Fig. 388 zeigt; dieſes Syſtem iſt alsdann an einem Coconfaden aufgehängt, welcher in der Mitte einer Glasglocke *c*, Fig. 387, aufgehängt iſt. Durch Drehen an dem Knopfe *f* läßt ſich der Coconfaden mit den Nadeln etwas heben oder ſenken. Der Apparat wird auf einem hinlänglich feſten Tiſche gehörig in's Niveau geſtellt, ſo daß der Faden gerade in der Mitte des Theilkreiſes hängt und ſo gerichtet, daß die Nadeln, wenn ihre Ebene in den magnetiſchen Meridian fällt, auf den Nullpunkt der Theilung zeigen.

Fig. 388.



Um die Verbindung zwiſchen der thermoelektriſchen Säule und dem Multiplicator herzuſtellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtſpiralen *g*

und h, welche bei x und y mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei m und n mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muß hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian macht, wenn sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen ist. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus dem magnetischen Meridiane herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten Geschwindigkeit an, welche sie noch weiter forttreibt; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniß zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie groß der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Eine solche Beziehung, welche natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muß, bietet den großen Vortheil, daß ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Sekunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müßte, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, läßt sich zwar nicht auf eine absolute, aber doch auf eine relative Weise ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, daß die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe, in solcher Entfernung an, daß die eine, für sich allein wirkend, eine Ablenkung von etwa 40° nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35° nach der linken Seite bewirkte; läßt man nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhält man eine Ablenkung von 15° nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5° zwischen 35 und 40° entspricht also einer Ablenkung von 15°, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieser Versuche eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man

erhalten würde, wenn die Ablenkung ſtets der Stromſtärke proportional wäre, wenn alſo die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um ſo ſchwächer wäre, je mehr ſie abgelenkt iſt. Für den Apparat, mit welchem Melloni ſeine Verſuche anſtellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° iſt die Ablenkung der Nadel der Stromſtärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35, 40 und 45° entſprechen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom alſo, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, iſt 62mal ſtärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni hat jedoch ſeine Verſuche ſo eingerichtet, daß die Ablenkungen ſtets kleiner als 30° waren.

Kehren wir nun wieder zu unſeren Verſuchen zurück; wenn man in den Brennpunkt des einen Spiegels einen der eben beſchriebenen Apparate, in den Brennpunkt des andern aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Ausdehnung bringt, ſo wird ſich zeigen, daß dieſer ſtets Wärme ausſtrahlt, ſobald ſeine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung überſteigt. Wenn man den Verſuch in einem Zimmer anſtellt, deſſen Temperatur unter 0° iſt, ſo wird ein Stück ſchmelzenden Eiſes, in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht, die Temperatur im andern Brennpunkte erhöhen.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0° iſt, ſo wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlſpiegels gebracht, das Sinken eines Thermometers veranlaſſen, welches ſich im Brennpunkte des andern Hohlſpiegels befindet. Dies beweiſ't aber nicht, daß eine Kälteſtrahlung ſtattfindet, das Thermometer ſinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eiſe ausſtrahlt, als es von dem Eiſe zurückempfängt.

Wenn man des Nachts einen Hohlſpiegel gegen den heiteren Himmel richtet, ſo wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieſes Hohlſpiegels ſich befindet, ſinken müſſen, weil es ſeine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausſtrahlt, ohne daß von dorther ſein Wärmeverluſt erſetzt wird.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, ſo hat man gar keine Hohlſpiegel mehr nöthig, um die Wärmeſtrahlung nachzuweiſen, man braucht nur an dem einen Ende der thermoelektriſchen Säule die coniſche Hülſe *b* anzuſetzen, welche die Wärmeſtrahlen etwas concentrirt; wenn man in einer Entfernung von mehreren Schritten die Hand gegen die Oeffnung der Hülſe *b* hält, ſo iſt die von ihr ausgehende Wärmeſtrahlung ſchon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

165 **Wärmeſtrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszuſtrahlen, iſt ſehr ungleich und hängt weſentlich von dem Zuſtande der Oberflächen ab; im Allgemeinen ſtrahlen die Ober-

flächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in einiger Entfernung in der Axe des Hohlspiegels einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seite 15 bis 18 Centimeter lang war; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei weitem vorzüglicher; er stellte in passender Entfernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seite 7 bis 8 Centimeter lang und welcher mit heißem Wasser gefüllt war, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche dem Thermomultiplicator zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich, aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß	100	Tusch	85
Bleiweiß	100	Gummilack . .	72
Hausenblase . .	91	Metallfläche . .	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrusses bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von der Kienrußfläche.

Melloni hat gezeigt, daß das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt, denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen bloßgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch

Ritzen tritt bei gegoſſenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei ſolchen wird ſogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, alſo die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrößert wird.

Bei ſolchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. ſ. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluß auf das Strahlungsvermögen.

Nachdem wir das Emiſſionsvermögen der Körper betrachtet haben, iſt zu unterſuchen, was aus den Wärmeſtrahlen wird, welche irgend einen Körper treffen; es ſind hier nur folgende Fälle möglich: entweder werden die Wärmeſtrahlen abſorbirt, oder ſie werden an ſeiner Oberfläche zurückgeworfen, oder ſie werden durchgelaſſen. Wir wollen nun dieſe einzelnen Fälle der Reihe nach betrachten.

166 **Abſorption der Wärmeſtrahlen.** Jeder Körper hat das Vermögen, Wärmeſtrahlen, die, von einem andern Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu abſorbiren; dies ergiebt ſich ſchon aus den eben beſprochenen Verſuchen, denn die Körper erwärmen ſich in dem Brennpunkte des einen Hohlſpiegels nur deshalb, weil ſie die Wärmeſtrahlen abſorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern zukommt, ergiebt ſich daraus, daß alle, den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher iſt als die Temperatur der Luft.

Das Abſorptionsvermögen iſt nicht für alle Körper gleich, was ſchon daraus hervorgeht, daß ſie nicht gleiches Emiſſionsvermögen haben, denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmeſtrahlen ausſendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, dieſe Strahlen einzuſaugen. Die Ungleichheit des Abſorptionsvermögens läßt ſich ſchon durch einen einfachen Verſuch zeigen: Man ſetze nur ein Thermometer, deſſen Kugel geſchwärzt iſt, den Sonnenſtrahlen aus, ſo wird es weit höher ſteigen als ein anderes, deſſen Kugel nicht geſchwärzt iſt; die geſchwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel abſorbirt alſo offenbar mehr Wärmeſtrahlen als die glänzende Oberfläche der andern.

Die von einem Körper abſorbirten Wärmeſtrahlen ſind es alſo, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmeſtrahlung möglichſt ſtark erwärmt werden ſoll, ſo muß man ihn mit einem Ueberzuge verſehen, welcher die Wärmeſtrahlen ſtark abſorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoſkope, welche dazu dienen ſollen, die Wirkungen der Wärmeſtrahlung recht deutlich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektriſchen Säule mit Ruß, weil dieſer unter allen bekannten Körpern das ſtärkſte Abſorptionsvermögen hat.

Wir haben oben geſehen, daß metalliſche Oberflächen nur ein ſehr

geringes Emiſſionsvermögen beſitzen, und daraus folgt, daß ſie die Wärmeſtrahlen auch nur in einem ſehr geringen Maaße einzuſaugen im Stande ſind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verſchiedenen Wärmeſtrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Abſorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede ſeyn.

Reflexion und Diffuſion der Wärmeſtrahlen. Im Allgemeinen 167
haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der ſie treffenden Wärmeſtrahlen ganz in der Weiſe zurückzuwerfen, wie ſie auch die Lichtſtrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectiren. Die Hohlſpiegel, die uns zu den obigen Verſuchen dienten, geben uns einen entſcheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmeſtrahlen, denn ſie erwärmen ſich ſelbſt bei dem Verſuche mit dem Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meiſten Körper dieſes Reflexionsvermögen beſitzen müſſen und daß es dem Abſorptionsvermögen ſo zu ſagen complementär iſt, denn die Summe der abſorbirten und der reflectirten Wärmeſtrahlen muß doch offenbar der Geſammtheit der einfallenden Strahlen gleich ſeyn, vorausgeſetzt, daß der Körper keine Wärmeſtrahlen durchläßt. Wenn alſo das Reflexionsvermögen größer iſt, ſo iſt das Abſorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmeſtrahlen reflectirt, muß alle Strahlen abſorbiren, wie dies in der That bei ſolchen Oberflächen der Fall iſt, die man ſorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen beſitzen, abſorbiren nur ſehr wenig Wärmeſtrahlen.

Die Wärmeſtrahlen werden ganz nach denſelben Geſetzen reflectirt wie die Lichtſtrahlen, d. h. der Reflexionswinkel iſt dem Einfallswinkel gleich; dies geht ſchon aus den Verſuchen mit den Hohlſpiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmeſtrahlen mit denen der Lichtſtrahlen zuſammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollſtändig polirten Körpers Lichtſtrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerſtreut werden, ſo erleiden auch die Wärmeſtrahlen an der Oberfläche der meiſten Körper eine Diffuſion. Man kann ſich davon durch folgenden Verſuch überzeugen. Man laſſe durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenſtrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, ſo wird der erleuchtete Fleck derſelben, welcher von allen Seiten her ſichtbar iſt, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerſtreut, auch die Wärmeſtrahlen unregelmäßig zerſtreuen, alſo nach allen Seiten hin Wärmeſtrahlen ausſenden, als ob er ſelbſt eine Wärmequelle wäre. Dieſe Diffuſion der Wärmeſtrahlen wird ſichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektriſche Säule zukehrt; man erhält einen Ausſchlag der Nadel,

an welcher Stelle des Zimmers man auch das Inſtrument aufſtellen mag; die Wirkung kann alſo nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß ſie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenſtrahlen beſchienenen Stelle der Wand iſt, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, ſobald man die Oeffnung im Laden verſchließt.

Auch von der Diffuſion der Wärmeſtrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede ſeyn.

168 **Fähigkeit der Körper, Wärmeſtrahlen durchzulaſſen.** Daß feſte Körper Wärmeſtrahlen in derſelben Weiſe durchlaſſen können, wie durchſichtige Körper die Lichtſtrahlen, geht ſchon daraus hervor, daß man im Stande iſt, brennbare Körper zu entzünden, wenn man ſie in den Brennpunkt einer den Sonnenſtrahlen ausgeſetzten Linſe hält. Genauere Unterſuchungen wurden erſt durch die thermoelektriſche Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derſelben eine Reihe höchſt wichtiger Unterſuchungen über den Durchgang der Wärmeſtrahlen durch verſchiedene Körper angeſtellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmeſtrahlen aufhalten, wie die undurchſichtigen Körper die Lichtſtrahlen, nennt Melloni atherman, ſolche Körper hingegen, welche ſich gegen die Wärmeſtrahlen verhalten wie die durchſichtigen Körper gegen die Lichtſtrahlen, nennt er diatherman. Die Luft iſt alſo ein diathermaner Körper, und wir werden ſogleich ſehen, daß auch ſehr viele feſte und flüſſige Körper, wenn auch in ſehr ungleichem Maaße, diatherman ſind.

Die Verſuche über den Durchgang der Wärmeſtrahlen wurden mit dem ſchon oben näher beſchriebenen Apparate, Fig. 389, angeſtellt; als Wärmequellen dienten die Locatelli'ſche Lampe *i*, eine Spirale von Platindraht, Fig. 390, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde; ein geſchwärztes Kupferblech, Fig. 391, welches durch eine Weingeiſtlampe auf 400° erwärmt war, und endlich ein hohler Würfel, Fig. 392, von Meſſingblech, welcher mit heißem Waſſer gefüllt war, das durch eine Lampe auf conſtanter Temperatur erhalten wurde. Dieſe conſtanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf den Träger *e* geſetzt Der Schirm *o*, welcher aus zwei Meſſingplatten zuſammengeſetzt und um ein Charnier drehbar iſt, kann zwiſchen die Wärmequelle und die Thermoſäule gebracht werden, ſo daß man in jedem Augenblicke die Wärmeſtrahlung von der Thermoſäule abhalten kann; die Platten endlich, welche man in Beziehung auf ihre Fähigkeit, Wärmeſtrahlen durchzulaſſen, unterſuchen will, werden bei *r* aufgeſtellt.

Die Verſuche wurden in folgender Weiſe angeſtellt: Die Wärmequelle wurde in eine ſolche Entfernung gebracht, daß ſie eine Ablenkung der Nadel

bis auf 30° hervorbrachte; wurden nun die Wärmeſtrahlen durch eine bei r aufgeſtellte Platte des zu unterſuchenden Körpers aufgefangen, ſo ging

Fig. 389.

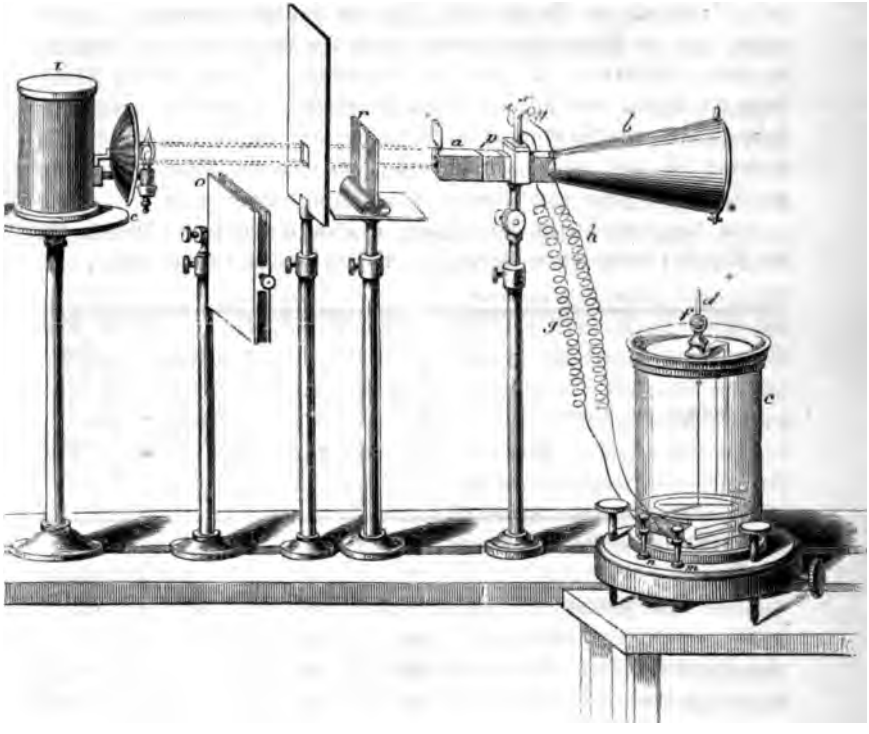


Fig. 390.

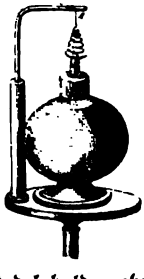


Fig. 391.

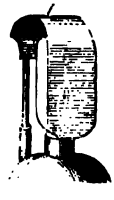


Fig. 392.

die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und ſo ergab ſich, daß gleich dicke und gleich durchſichtige Platten verſchiedener Körper nicht gleiche Mengen ſtrahlender Wärme durchlaſſen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, ſo wird die Nadel auf 28° zurück-

gehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinſalzplatte bei r aufſtellt, während eine gleich dicke Quarzplatte die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinſalz läßt alſo die Wärmeſtrahlen bei weitem beſſer durch als der Bergkryſtall. Manche weniger durchſichtige Körper laſſen ſogar die Wärmeſtrahlen beſſer durch als andere, die ganz durchſichtig ſind. Während z. B. eine ganz durchſichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher faſt ganz undurchſichtige Körper, wie ſchwarzes Glas und ſchwarzer Glimmer, laſſen noch ziemlich viele Wärmeſtrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben ſich folgende Werthe für die Fähigkeit verſchiedener Körper, die Wärmeſtrahlen durchzulaſſen.

Namen der Körper.	Locatelli'ſche Lampe.	Glühende Platinſpirale.	Geſchwärztes bis zu 400° erwärmtes Kupferblech.	Geſchwärztes bis zu 100° erwärmtes Meſſingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinſalz	92	92	92	92
Flußſpath, klar, farblos . . .	78	69	42	33
Kalkſpath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkryſtall	38	28	6	0
Gyps, kryſtalliſirt	14	5	0	0
Citronenſäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1mm dick . .	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9mm dick	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt iſt, betrug ſie 2,6 Millimeter.

Die Betrachtung dieſer Tabelle führt uns zu ſehr wichtigen Folgerungen. Wir ſehen, daß das Steinſalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchläßt, was bei allen anderen angeführten Subſtanzen nicht der Fall iſt. Wir ſehen z. B., daß eine Flußſpathplatte 78 Procent der Strahlen durchläßt, welche von der Locatelli'ſchen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmeſtrahlen, welche von einer berußten, bis zu

100° erwärmten Metallfläche ausgeſtrahlt werden. Das ſchwarze Glas läßt die Wärmeſtrahlen der Locatelli'ſchen Lampe und der glühenden Platinſpirale faſt gleich gut durch, von der erſteren Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es läßt gar keine der Wärmeſtrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Daraus geht hervor, daß die Wärmeſtrahlen, welche von den verſchiedenen Wärmequellen kommen, nicht ganz gleicher Natur ſind, denn ſonſt müßte jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältniſſe durchlaſſen. Dieſer Unterſchied in der Natur der Wärmeſtrahlen treten aber noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmeſtrahlen durch mehrere hinter einander aufgeſtellte Körper gehen läßt.

Läßt man die Wärmeſtrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen ſind, auf eine Alaunplatte fallen, ſo werden ſie gänzlich abſorbirt, während doch eine Alaunplatte faſt alle Wärmeſtrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronenſäure gegangen ſind. Dieſe Erſcheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichts durch gefärbte Mittel; Lichtſtrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen ſind, werden bekanntlich von anderen grünen Gläſern leicht durchgelaſſen, ſie werden aber abſorbirt, wenn man ſie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterſchiede zwiſchen den Wärmeſtrahlen ſind alſo den Verſchiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Melloni nannte die Eigenſchaft der Körper, gewiſſe Wärmeſtrahlen vorzugsweiſe zu abſorbiren, andere hingegen vorzugsweiſe durchzulaſſen, Diathermanſie; man könnte dieſe Eigenſchaft, nach Pouillet's Vorſchlage, auch Thermanismus, die Körper aber, welchen ſie zukommt, thermaniſirende nennen. Thermaniſirte Wärmeſtrahlen wären demnach ſolche, welchen dadurch, daß ſie einen thermaniſirenden Körper durchdrungen haben, gleichſam eine Wärmefärbung erhalten haben, wie den Lichtſtrahlen, indem ſie durch farbige Gläſer gehen, eine beſtimmte Farbe ertheilt wird. Das Steinſalz iſt der einzige bis jetzt bekannte feſte diathermane Körper, welcher die Wärmeſtrahlen nicht thermaniſirt, denn das Steinſalz läßt ja alle Wärmeſtrahlen gleich gut durch, es verhält ſich gegen die Wärmeſtrahlen wie ein farbloſer durchſichtiger Körper gegen das Licht.

Wenn man mit 100 die Intenſität der Wärmeſtrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinſalzplatte fallen, ſo iſt die Intenſität der durchgelaſſenen Strahlen nach unſerer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Reſt der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, iſt 7,8 oder ungefähr $\frac{1}{13}$ der einfallenden Strahlen; dieſer Reſt kann nun entweder abſorbirt, oder an den beiden Oberflächen der Steinſalzplatte rechtwinklig reflectirt worden ſeyn; in der That findet nur das Letztere

d. h. im Steinſalz findet gar keine merkliche Abſorption der Wärmeſtrahlen Statt. Zu dieſem Schluſſe iſt man ſchon dadurch berechtigt, daß die Dicke einer Steinſalzplatte gar keinen Einfluß auf die Quantität der durchgelaſſenen Wärmeſtrahlen ausübt; eine Steinſalzplatte von 1 Millimeter Dicke läßt die Wärmeſtrahlen nicht beſſer durch als eine andere, welche mehrere Centimeter dick iſt.

Dieſer Schluß wird durch folgende Verſuche zur Gewißheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber 6 Glasplatten von derſelben Glasſorte in den Apparat, welche zuſammen 8 Millimeter dick ſind, ſo wird ſich die Menge der Wärmeſtrahlen, welche die eine Platte durchläßt, zu der, welche durch die 6 Platten geht, wie 23 zu 15 verhalten. In beiden Fällen iſt der Verluſt durch Abſorption ganz derſelbe; wenn alſo das Syſtem von 6 Platten weniger Wärmeſtrahlen durchläßt, ſo kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen ſeyn. Weil die Abſorption in der einen dicken Platte dieſelbe Wirkung ausübt, wie in den 6 dünnen, ſo kann man ſie ganz unberückſichtigt laſſen, man kann annehmen, ſie ſey gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer ſolchen Wärmefärbung eingefallen, daß ſie gar nicht vom Glaſe abſorbirt werden; bezeichnen wir unter dieſer Vorausſetzung mit 1 die Intenſität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verluſt, ſo iſt die Intenſität der Wärmeſtrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Intenſität der Wärmeſtrahlen, welche die 6 Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ ſeyn. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält ſich demnach zu der, welche die 6 Platten durchlaſſen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Verſuche verhalten ſich aber dieſe Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben alſo

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217 \ldots$, alſo $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus dieſem Verſuche ergiebt ſich alſo für den Verluſt durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte der Werth 0,082, was faſt gleich $1/13$ und dem entſprechenden Werthe für Steinſalz ganz gleich iſt. Bergkryſtall, ſenkrecht auf die Axe geſchnitten, giebt denſelben Werth, und man kann daraus folgende Schlüſſe ziehen: 1) Das Steinſalz läßt die Wärmeſtrahlen ohne merkliche Abſorption durch; 2) die rechtwinklige Reflexion an der erſten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinſalz, Glas oder Quarz beträgt nur $1/13$ der einfallenden Wärmeſtrahlen.

169 **Einfluß der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlaſſung der Wärmeſtrahlen.** Wir haben geſehen, daß das Steinſalz keine merkliche Abſorption auf die Wärmeſtrahlen ausübt, wenigſtens wenn die

Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch der einzige vollkommene diathermane Körper; alle anderen Körper absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen, die Größe der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platten ab.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Dicke in Millimetern.	Glas von St. Gobin.			Durchsichtiger Bergkrystall.			Rauchtopas.			Rüböl.		Destillirtes Wasser.	
	Focalflamme.	Glühende Platin.	Kupfer von 400°.	Focalflamme.	Glühende Platin.	Kupfer von 400°.	Focalflamme.	Glühende Platin.	Kupfer von 400°.	Focalflamme.	Glühende Platin.	Focalflamme.	Glühende Platin.
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	76,6	65,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	„	„	„	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,6	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
2,2	66,6	„	„	72,5	„	„	„	„	„	32,7	„	„	„
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	„	„	„	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	„	„	„	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,8	5,0	„	„	„	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	„	„	„	21,8	8,1	8,0	0,6
9	„	„	„	„	„	„	„	„	„	21,2	7,5	7,8	0,5
10	„	„	„	„	„	„	„	„	„	21,0	7,1	7,7	0,4
11	„	„	„	„	„	„	„	„	„	20,9	6,7	7,7	0,3
50	„	„	„	„	„	„	„	„	„	12,5	2,1	2,4	0,0
86	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„
100	„	„	„	„	„	„	„	„	0,7	8,1	1,2	1,3	0,0
150	„	„	„	„	„	„	„	„	„	6,1	„	0,7	0,0
200	„	„	„	„	„	„	„	„	„	5,3	„	„	„

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche

genau $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$ u. ſ. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche dieſen Dicken entſprechen, wurden durch Interpolation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

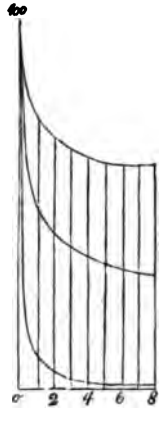
Das Rüböl wurde, um es dem Verſuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegoſſen, welches auf beiden Seiten mit Steinſalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelſchicht mehr als 3 Millimeter betrug, ſo war es gleichgültig, ob ſie zwiſchen Glasplatten oder zwiſchen Steinſalzplatten eingeſchloſſen war.

Nachdem ermittelt worden war, daß reines Waſſer ebenſo wirkt wie Salzwaſſer, war es leicht zu erkennen, daß eine Waſſerſchicht denſelben Effect hervorbringt, mag ſie nun zwiſchen Glasplatten oder zwiſchen Steinſalzplatten eingeſchloſſen ſeyn.

Man ſieht, daß für die fünf Körper die Abſorption bei einer Dicke von $\frac{1}{2}$ Millimeter ſchon ſehr beträchtlich und daß ſie um ſo bedeutender wird, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle iſt.

Die Abſorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs raſch zu, ſie ſcheint ſich aber einer beſtimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derſelben keinen merklichen Einfluß mehr. Es läßt ſich dies am beſten durch eine graphiſche Darſtellung der in unſerer Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate überſehen. In Fig. 393 ſind die Abſciſſen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intenſität der Wärmeſtrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entſprechenden Dicke durchläßt. Die oberſte Kurve entſpricht dem Falle, daß die einfallenden Strahlen von der Locatelli'ſchen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400° erwärmte Kupferblech.

Fig. 393.

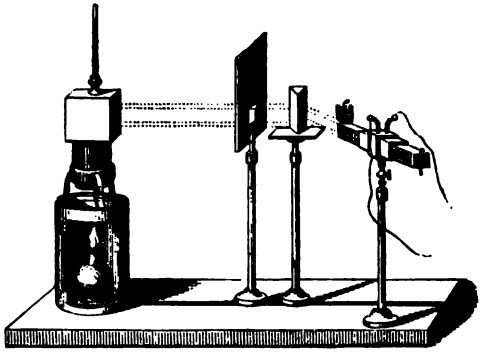


Wir ſehen aus dieſer Zuſammenſtellung auch, daß die Wärmeſtrahlen der verſchiedenen Wärmequellen aus ſehr verſchieden abſorbirbaren Elementen beſtehen; um die Strahlen der einen Quelle faſt vollſtändig zu abſorbiren, iſt nur eine ſehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen ſelbſt bei einer ſehr bedeutenden Dicke der Abſorption widerſtehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine größere Anzahl abſorbirbarer Elemente, wenigſtens für die in unſerer Tabelle enthaltenen Subſtanzen.

170 **Brechung der Wärmeſtrahlen.** Auf einem Statif, Fig. 394, wird ein Prisma von Steinſalz und in einiger Entfernung die Locatelli'ſche Lampe aufgeſtellt; man ſucht alsdann die Richtung, in welcher die von der Lampe ausgehenden Lichtſtrahlen für den Fall der geringſten Ab-

lenkung aus dem Prisma austreten und bringt dann die thermoelektrische Säule in diese Richtung; die Nadel wird alsdann abgelenkt; sie geht aber

Fig. 394.



sogleich wieder zurück, wenn man die von der Wärmequelle auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen Schirm auffängt. Die Nadel wird auch noch abgelenkt, wenn man an die Stelle der Lampe eine glühende Platinspirale, das bis auf 400° erhitzte Kupferblech oder selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel setzt. Die Ablenkung der Nadel hört auf, wenn man die Säule etwas dreht, so daß sie aus der Richtung der gebrochenen Strahlen herauskommt. Die Strahlen der verschiedenen Wärmequellen werden also durch das Steinsalz gebrochen, und ihr Brechungsexponent ist von dem der Lichtstrahlen nicht merklich verschieden.

Wenn man mit Sonnenlicht und einem Steinsalzprisma operirt, welches ein sehr breites Spectrum giebt, so kann man die wahre Zusammensetzung der Sonnenwärme studiren; es ergiebt sich auf diese Weise, daß sie Elemente von sehr verschiedener Brechbarkeit enthält, die zum Theil noch brechbarer sind als das violette Licht, zum Theil aber noch weniger brechbar als die rothen Strahlen. Das Maximum der Wirkung des Wärmespectrums der Sonne liegt noch jenseits der Gränze des rothen Endes des Lichtspectrums. Es zeigt sich auch, daß die meisten thermanisirenden Körper vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen absorbiren, die brechbaren aber durchlassen; da sie nun aber auch die Wärmestrahlen absorbiren, welche von Wärmequellen niedriger Temperatur kommen, so folgt, daß durch Erhöhung der Temperatur vorzugsweise die Menge der brechbaren Wärmestrahlen vermehrt wird.

Man sieht wohl ein, daß die Sonnenspectra solcher Prismen, welche aus anderen Substanzen verfertigt sind, nicht dieselbe Vertheilung der Wärme zeigen können, wenn diese Substanzen die Wärmestrahlen in verschiedenem

Verhältniſſe abſorbiren. Dieſe Bemerkung reicht wohl hin, um die Verſchiedenheit der Reſultate zu erklären, welche die Phyſiker erhalten hatten, bevor Melloni das Princip des Thermanismus begründet hatte.

171 **Ungleichheit des Abſorptions- und Diffuſionsvermögens für die Strahlen verſchiedener Wärmequellen.** Da die diathermanen Körper bald die Wärmeſtrahlen der einen, bald die der andern Wärmefarbe vorzugsweiſe abſorbiren, ſo fragt es ſich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches ſtattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmeſtrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit abſorbiren oder nicht?

Um dieſe Frage zu beantworten, ſtellte Melloni folgende Verſuche an: Aus einer und derſelben Kupfertafel wurde eine Anzahl Scheiben geſchnitten, deren Durchmeſſer nur wenig größer war als der Durchmeſſer der äußeren Oeffnung des an die thermoelektriſche Säule angeſetzten coniſchen Reflectors; alle dieſe Scheiben wurden auf der einen Seite durch Ruß geſchwärzt, auf der andern Seite aber mit einem gleichmäßigen Anſtriche der zu prüfenden Subſtanz verſehen; dieſe Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des coniſchen Reflectors gebracht, indem die geſchwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorderſeite abſorbirten Wärmeſtrahlen wurde die Platte erwärmt und ſandte in Folge deſſen auf der andern Seite Wärmeſtrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate dieſer Verſuche.

Namen der Körper.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hauſenblaſe	54	64	91
Tuſch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche . .	13,5	13	13

Es iſt hier das Abſortionsvermögen des Kienrußes mit 100 bezeichnet und damit das Abſorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berußte Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berußte, auf der andern mit dem zu unterſuchenden Körper überſtrichene vor die Säule ſetzte. Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß das Bleiweiß bei weitem weniger Wärmeſtrahlen abſorbirt als der Kienruß, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden ſchon

vollständiger von Bleiweiß absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiß eben so vollständig absorbirt, als vom Kienruß.

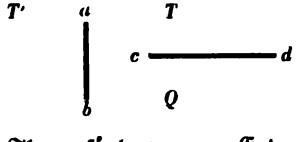
Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten, er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

Das Bleiweiß absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruß absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten, es folgt aber daraus doch noch nicht, daß es wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse absorbirt. Die vollständige Kenntniß der Art und Weise, wie der Kienruß die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist von der höchsten Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man znr Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Ruß überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, daß der Kienruß alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrument gezogenen Folgerungen würden falsch seyn, wenn diese Voraussetzung unwahr wäre; **Melloni** hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen.

Es sey ab eine auf beiden Seiten berußte Scheibe von Kupferblech, welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser hat. Vor der Scheibe ab ist ein Metallschirm cd aufgestellt, welcher die Thermosäule in T vor der directen Wirkung der von der Wärmequelle Q ausgehenden Strahlen schützt.

Fig. 395.



Die Thermosäule war am Ende einer horizontalen Alhidade befestigt, die um einen Stift drehbar war, welcher in der Richtung der durch den Mittelpunkt der Scheibe gehenden Verticallinie lag, so daß man die Thermosäule leicht von T nach T' und wieder zurückbringen konnte. Zuerst wurde die Säule in die Lage T' gebracht; die Scheibe ab erwärmte sich durch die von Q ausgehenden und auf der Vorderseite von ab absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, daß das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in T' eine Ablenkung von ungefähr 12° hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach T gebracht; jetzt mußte die Ablenkung größer seyn, denn die vordere Fläche sendet nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreut auch einen Theil der von Q kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der	
	hinteren Fläche.	vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entſprechende Kräfte.	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entſprechende Kräfte.	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	11,83°	14,08°
Entſprechende Kräfte .	100	119

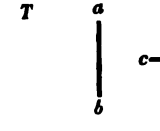
Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, ſtehen alſo ſtets in demſelben Verhältniſſe, in dem Verhältniſſe von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet alſo eine ſchwache Diffuſion Statt, aber das Verhältniß zwiſchen Diffuſion und Abſorption iſt ſtets daſſelbe, der Kienruß hat alſo in der That für Wärmeſtrahlen aus allen Quellen gleiches Abſorptionsvermögen.

Da der Kienruß alle Wärmeſtrahlen faſt ganz abſorbirt, ſo iſt er ſo zu ſagen ſchwarz für die Wärmeſtrahlen wie für die Lichtſtrahlen.

Nun drängt ſich die intereſſante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmeſtrahlen gleich gut zerſtreuen, alſo Körper, welche für die Wärmeſtrahlen das ſind, was ein weißer Körper für das Licht iſt. Solche wärme-weißen Körper ſind nun die Metalle, denn aus der Tabelle auf Seite 462 ſehen wir, daß ſie die Wärmeſtrahlen aller Arten in gleichem Maße abſorbiren, folglich müſſen ſie auch alle Wärmeſtrahlen in gleichem Verhältniſſe zerſtreuen.

Aus der auf Seite 462 angeführten Tabelle erſieht man, daß das Bleiweiß nicht alle Wärmearten gleich gut abſorbirt, und daraus folgt denn, daß auch ſein Diffuſionsvermögen für die Wärmeſtrahlen verſchiedener Wärmequellen ſehr ungleich ſeyn müſſe. Melloni hat dies auch durch den Verſuch direct bewieſen. Die Wärmequelle Q, Fig. 396, und die thermoelektriſche Säule

Fig. 396.



T waren gerade ebenſo aufgeſtellt, wie bei dem Verſuche, durch welchen die Gleichheit des Abſorptionsvermögens des Kienrußes für alle Wärmeſtrahlen bewieſen wurde, die dünne Metallſcheibe ab war aber nur auf der Rückſeite geſchwärzt, auf der Vorderſeite hingegen mit Bleiweiß angeſtrichen; wenn ſich nun die thermoelektriſche Säule in T' befand, ſo wurde ſie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgeſtrahlte Wärme afficirt; befand ſich aber die Säule in T, ſo wirkten außerdem auch noch die an der Vorderfläche zerſtreuten Strahlen auf dieſelbe. Die Reſultate dieſer Verſuche waren folgende:

	Wirkungen der	
	hinteren ſchwarzen Fläche.	vorderen weißen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	11,51°	15,96°
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32°	18,68°
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13°	21,05°
Kräfte	69	181

Es ſind alſo

die Ausſtrahlungen der Hinterfläche . . .	93	84	69
Entſprechende Ausſtrahlungen der Vorderfläche	129	152	181
Verhältniß beider	$^{10}/_{14}$	$^{10}/_{18}$	$^{10}/_{20}$

Die weiße Fläche hat alſo nicht gleiches Abſorptions- und Diffuſionsvermögen für alle Wärmearten. Die Strahlen des auf 400° erhitzten Metalls werden von derſelben faſt eben ſo gut abſorbirt als von der ſchwarzen; eine ſtärkere Diffuſion und eine geringere Abſorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieſes Verhältniß ändert ſich noch mehr für die Locatelli'ſche Lampe. Die weiße Fläche verhält ſich demnach gegen die Wärmeſtrahlen wie eine farbige gegen das Licht; ſie zerſtreut nämlich Strahlen gewiſſer Wärmefarben, während ſie andere Wärmeſtrahlen nicht zerſtreut, ſondern abſorbirt.

Polariſation der Wärmeſtrahlen. Melloni hat die Polariſation 172

der ſtrahlenden Wärme durch folgenden Verſuch nachgewieſen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trägt, die ſo auf einander gelegt ſind, daß die Ebene der optiſchen Axen für alle dieſe Blättchen dieſelbe Lage hat; vor dieſer Röhre befand ſich eine Steinſalzlinſe, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgeſtellt war, ſo daß ein Bündel paralleler Wärmeſtrahlen auf die erſte Glimmerſäule fiel; auf der andern Seite der Röhre war die thermoelektriſche Säule aufgeſtellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmerſäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmerſäulen nach Belieben ſo ſtellen, daß ihre Polariſationsebenen parallel waren, oder daß ſie ſich rechtwinklig kreuzten. Außerdem war aber auch noch die Einrichtung getroffen, daß man die Neigung der Glimmerſäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmerſäulen hindurchgeht, iſt nun ſehr ungleich, je nachdem die Polariſationsebenen der beiden Glimmerſäulen parallel oder gekreuzt ſind, wie man dies aus folgender Tabelle erſieht, welche die Reſultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polariſation der ſtrahlenden Wärme angeſtellten Verſuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmerſäulen war bei dieſer Verſuchsreihe aus 20 Glimmerblättchen zuſammengeſetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelaſſenen Wärmeſtrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt ſind, laſſen ſie alſo in der That weniger Wärmeſtrahlen durch, als wenn ſie parallel ſind, und zwar wächſt der Unterſchied um ſo mehr, je mehr ſich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durchgehenden Wärmeſtrahlen nähert; die Glimmerſäulen polariſiren alſo

die Wärmeſtrahlen durch Brechung um ſo vollſtändiger, je ſchräger ſie hindurchgehen.

Forbes, welcher in der That die erſten Verſuche über die Polariſation der ſtrahlenden Wärme angeſtellt hatte, glaubte aus ſeinen Beobachtungen den Schluß ziehen zu müſſen, daß die Wärmeſtrahlen verſchiedener Wärmequellen ungleich polariſirbar ſeyen, was, nach Melloni's Verſuchen, durchaus nicht der Fall iſt.

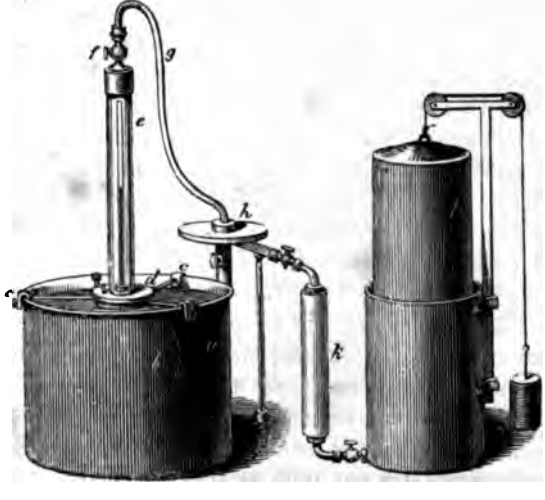
Auch durch Turmalinplatten laſſen ſich die Wärmeſtrahlen polariſiren, und ein zwiſchen die beiden Glimmerſäulen gebrachtes Glimmerblättchen zeigt die Erſcheinungen der Depolariſation der Wärmeſtrahlen ganz in der Art, wie eine doppeltbrechende Kryſtallplatte, zwiſchen die gekreuzten Spiegel des Polariſationsapparates gebracht, das Geſichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht denn hervor, daß die ſtrahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig iſt. Ohne über die Gränzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch dieſen intereſſanten Gegenſtand nicht weiter verfolgen.

Interferenzerſcheinungen der ſtrahlenden Wärme hat man bis jetzt noch nicht nachweiſen können.

Geſetze des Erkaltens. Seit Newton, welcher zuerſt einige Grund- 173
ſätze über das Erkalten der Körper aufgeſtellt hatte, ſind von vielen Gelehrten exprimentale und mathematiſche Unterſuchungen angeſtellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und Petit ſie vollſtändig löſ'ten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wiſſenſchaften zu Paris gekrönt.

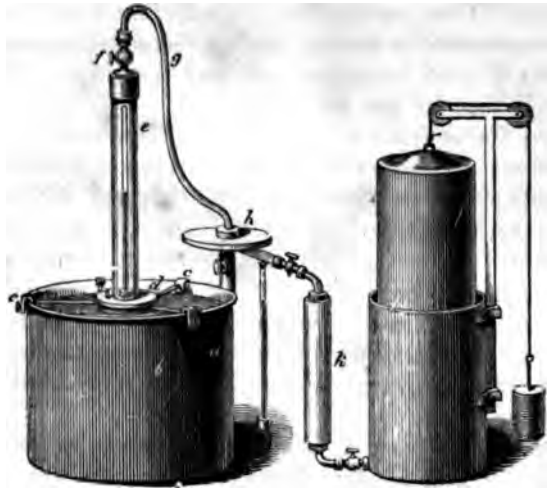
Der Apparat, den ſie zu ihren Verſuchen anwandten, iſt Fig. 397 abge-

Fig. 397.



bildet; das kupferne Gefäß *a* iſt mit Waſſer angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf conſtanter Temperatur erhalten

Fig. 398.



wird; *b* iſt ein Ballon von Kupfer, welcher 30^{cm} Durchmeſſer hat und innen geſchwärzt iſt; er iſt in das Waſſerbad eingeſenkt und durch die Träger *c* gehalten. Auf den breiten, wohl abgeſchliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte *d* von dickem Glaſe aufgeſetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz ſo aufgeſetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Dieſe Röhre iſt oben mit einem Hahn *f* verſehen und durch die Bleiröhre *g* mit einer Luftpumpe in Verbindung geſetzt, von welcher in unſerer Figur nur der Teller *h* gezeichnet iſt. Das Rohr *k* iſt mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gaſometer *l* kommende Gas zu trocknen, wenn man Verſuche über das Erkalten in verſchiedenen Gaſen anſtellen will. Die Körper, welche man in dieſem Apparate erkalten läßt, ſind große Thermometer mit kugelförmigem Gefäße von 3 bis 6 Centimeter Durchmeſſer. Dieſe Thermometer ſind mittelſt eines Korkſtopfens in der Glasplatte *d* befeſtigt und können mit dieſer abgehoben und bis auf 100, 200 oder 300° erwärmt werden.

Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt iſt, wird es raſch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgeſetzt und die Luft raſch ausgepumpt. Das Thermometer ſinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entſprechende Zeit mit Hülfe einer Uhr beſtimmt.

Auf dieſe Weiſe haben Dulong und Petit viele Verſuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe, bei welcher ſtets daſſelbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Waſſerbades und der Hülle *b* abgeändert wurde.

Temperaturüberſchuß des Thermometers	Geſchwindigkeit des Erkaltens.				
	Hülle von 0°.	Hülle von 20°.	Hülle von 40°.	Hülle von 60°.	Hülle von 80°.
240°	10,69°	12,40°	14,35°	»	»
220	8,81	10,41	11,98	»	»
200	7,40	8,58	10,01	11,64°	13,45°
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	2,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	»	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter Geſchwindigkeit des Erkaltens iſt immer die Temperaturerniedrigung zu verſtehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, ſo ſinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet iſt, ſo nimmt ſeine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, daß der Wärmeverluſt eines Körpers in jedem Augenblicke ſeinem Temperaturüberſchuſſe proportional ſey; die oben angeführte Verſuchsreihe zeigt aber, daß dies nicht der Fall iſt.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberſchuſſe von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, ſo müßte es, nach dem Newton'ſchen Geſetze, bei einem Temperaturüberſchuſſe von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während, nach den Dulong'ſchen Verſuchen, bei einem Temperaturüberſchuſſe von 160 und 240° die Erkaltung weit raſcher vor ſich geht.

Das Newton'ſche Geſetz iſt nur annähernd richtig, ſo lange der Temperaturüberſchuß nur 40 bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeſchwindigkeit wächſt in einem weit raſcheren Verhältniſſe als der entſprechende Temperaturüberſchuß.

Man ſieht auch aus obiger Tabelle, daß bei gleichem Temperaturüberſchuſſe die Geſchwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig iſt. Wenn z. B. die Hülle 80° warm iſt, ſo iſt bei gleichem Temperaturüberſchuſſe die Geſchwindigkeit des Erkaltens faſt doppelt ſo groß als bei einer Hülle von 0°.

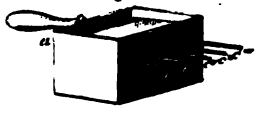
Verſuche, welche mit Thermometern angeſtellt wurden, deren Kugeln verſchiedene Durchmeſſer hatten, ergaben das Reſultat, daß ſich die Erkaltungsgeſchwindigkeit umgekehrt wie der Durchmeſſer verhält; daß die Erkaltungsgeſchwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, verſteht ſich von ſelbſt.

Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem andern Gas umgeben iſt, ſo verliert er ſeine Wärme aus zwei Urſachen, nämlich durch Strahlung nach denſelben Geſetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches ſich durch das Aufwärtsſtrömen der erwärmten Theilchen ſtets erneuert.

174 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, ſondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum andern übergehen und ſich alsdann durch ſeine ganze Maſſe hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und ſich durch ſeine Maſſe verbreitet, eine große Ungleichheit zwiſchen verſchiedenen Körpern Statt; in manchen verbreitet ſich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum andern übergeht. Ein Schwefelhölzchen, welches an einem Ende brennt, kann man am andern Ende noch zwiſchen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt ſich alſo nicht ſo leicht der übrigen Maſſe des Holzes mit, das Holz iſt ein ſchlechter Wärmeleiter; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am andern Ende nicht anfaſſen, ohne ſich zu verbrennen, die Wärme verbreitet ſich alſo leicht von dem glühendem Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall iſt alſo ein guter Wärmeleiter.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verſchiedener Körper iſt, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 399 dargeſtellten von Ingenhouß angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kaſtens von Blech ſind mehrere, aus den zu vergleichenden Subſtanzen verfertigte Stäbchen eingeſteckt, welche ſämmtlich gleichen Durchmeſſer haben müſſen und ſämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen ſind; wenn man nun kochendes Waſſer oder heißes

Fig. 399.



Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sey von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis an's Ende geschmolzen seyn, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockeren Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher in's Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

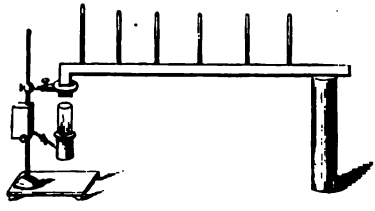
Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am andern Ende nie so hoch steigen können, als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so steigt seine Temperatur an keiner Stelle weiter, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in ganz dünne Scheibchen zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jedes Scheibchen in jedem Augenblicke eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt, als es wieder abgiebt. Nun aber giebt jedes Scheibchen nicht nur Wärme an das nächstfolgende ab, sondern es verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung, jede folgende Schicht des Metallstabs empfängt also offenbar weniger Wärme als

die vorhergehende, und ſomit iſt klar, daß die Erwärmung des Stabes an verſchiedenen Stellen um ſo geringer ſeyn wird, je weiter ſie von der Wärmequelle entfernt ſind.

Dieſe Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle überſieht man ſehr gut in folgendem von Despretz aufgeſtellten Verſuche, Fig. 400. In einer vierſeitigen Metallſtange, an welcher jede Seite des Querſchnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu Decimeter Löcher von 6mm Durchmeſſer und 14mm Tiefe angebracht. Dieſe Löcher waren mit Queckſilber ausgefüllt, und in dieſes waren die zur Beobachtung der Temperatur dienenden Thermometer eingeſenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallſtabes wurde darch eine Weingeiſtlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszuſtand erreicht hatte. Ein Stab von Kupfer gab folgende Reſultate:

Fig. 400.



Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100mm	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2.

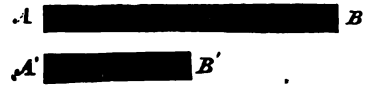
Man ſieht hieraus, daß der Temperaturüberſchuß jedes folgenden Thermometers 1,4 mal geringer iſt als für das vorhergehende; wenn alſo die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetiſcher Reihe wachſen, ſo nehmen die entſprechenden Temperaturerhöhungen in geometriſcher Reihe ab. Dieſe Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei ſchlechteren Wärmeleitern nicht mehr Statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem ſolchen Verhältniſſe ſchlechter leitet als das Kupfer, daß, wenn man mit einem Stabe von denſelben Dimenſionen denſelben Verſuch anſtellt, alle Thermometer nur einen halb ſo großen Temperaturüberſchuß zeigten, ſo würde offenbar der Temperaturüberſchuß eines jeden Quer-

ſchnittes des ſchlechter leitenden Stabes gerade eben ſo groß ſeyn als der Temperaturüberſchuß eines doppelt ſo weit von der Wärmequelle entfernten Querſchnittes im Kupferſtabe; und wenn man aus dem ſchlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei ſonſt gleichen Dimenſionen nur halb ſo lang iſt als der Kupferſtab, ſo würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 401 möge AB den Kupferſtab, $A'B'$ den ſchlechter leitenden Metallſtab von halber Länge darſtellen; wenn die Enden A und A' mit einer und derſelben Wärmequelle in Berührung ſind, ſo werden nach unſerer Vorausſetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe ſtationär geworden iſt. Nehmen wir an, der Querſchnitt n' liege halb ſo weit von B' als n von B, ſo werden auch die Temperaturen der Querſchnitte n und n' gleich ſeyn; weil aber nB noch einmal ſo groß iſt als $n'B'$, ſo wird das Ende nB des Kupferſtabes in gleicher Zeit doppelt ſo viel Wärme an die Umgebung ausſtrahlen als das Endſtück $n'B'$ des andern Stabes; in gleichen Zeiten muß alſo dem Ende nB des Kupferſtabes doppelt ſo viel Wärme zugeführt werden, als dem Ende $n'B'$ des andern Stabes. Wenn ferner die Länge mn doppelt ſo groß iſt als $m'n'$, ſo werden auch die Schichten m im einen und m' im andern Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück mn des Kupferſtabes dieſelbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück $m'n'$ des andern Stabes, ſo würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt ſo groß ſeyn als das des andern Metalls. Nun geht aber durch das Stück mn des Kupferſtabes in derſelben Zeit doppelt ſoviel Wärme hindurch als durch das Stück $m'n'$ des andern Stabes, weil ja das Ende nB des Kupferſtabes in gleichen Zeiten doppelt ſo viel Wärme ausſtrahlt als das Ende $n'B'$; folglich würde für unſern Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers 4mal ſo groß ſeyn als die des andern Metalls.

Fig. 401.



Wenn wir dieſe Betrachtungsweiſe allgemeiner machen, ſo kommen wir zu dem Schluſſe, daß für Stäbe verſchiedener Metalle von gleichen Dimenſionen die Wärmeleitungsfähigkeit ſich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter ſonſt gleichen Umſtänden gleiche Temperaturüberſchüſſe beobachtet.

Auf dieſe Weiſe hat Despretz folgende Verhältnißzahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

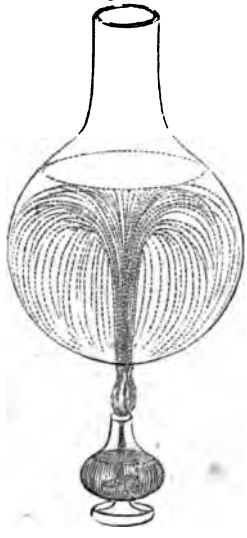
Gold	1000	Eiſen	374
Platin . . .	981	Zink	363
Silber . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	180.

Man nimmt gewöhnlich für die Leitungsfähigkeit des Marmors den Werth 23, für Porzellan den Werth 12 u. ſ. w., doch iſt die Richtigkeit dieſer Werthe ſehr zweifelhaft, denn die oben angeführte Beſtimmungsmethode läßt ſich hier nicht mehr mit Zuverſicht anwenden, weil bei dieſen ſehr ſchlechten Wärmeleitern der Temperaturüberſchuß nicht nach dem Geſetze abnimmt, wie dies bei guten Wärmeleitern der Fall iſt.

Wenn die eben angedeutete Beſtimmungsmethode anwendbar ſeyn ſoll, ſo muß das Ausſtrahlungsvermögen der Oberflächen ſtets daſſelbe ſeyn; man überzieht deshalb die zum Verſuche beſtimmten Metallſtäbe mit Kienruß.

175 **Wärmeleitungsfähigkeit der Flüſſigkeiten und Gaſe.** In den Flüſſigkeiten verbreitet ſich die Wärme meiſtens durch Strömungen, welche dadurch entſtehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe ſteigen. Man kann dieſe Strömungen leicht ſichtbar machen, wenn man Sägeſpähne in's Waſſer wirft, welches ſich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langſam erwärmt, Fig. 402. Man ſieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet iſt. Wenn man eine Flüſſigkeit von oben her erwärmt, ſo daß das hydroſtatiſche Gleichgewicht nicht geſtört wird, ſo kann ſich die Wärme nur in derſelben Weiſe durch die Maſſe der Flüſſigkeit verbreiten, wie dies bei feſten Körpern der Fall iſt, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur andern übergeht. In ſolchen Fällen verbreitet ſich die Wärme aber nur ſehr langſam durch die Maſſe der Flüſſigkeit, die Flüſſigkeiten ſind alſo ſehr ſchlechte Wärmeleiter.

Fig. 402.



Um ſich von der ſchlechten Leitungsfähigkeit der Flüſſigkeiten zu überzeugen, braucht man nur die Kugel eines Thermometers in kaltes Waſſer zu tauchen und dann heißes Oel auf das Waſſer zu gießen; man wird ſelbſt in den oberſten Waſſerſchichten kaum eine Temperaturerhöhung wahrnehmen können.

Desprez hat die Leitungsfähigkeit des Waſſers beſtimmt, indem er

Waſſerſäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmeſſer von oben her durch beſtändige Erneuerung von heißem Waſſer erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Waſſerſäule an allen Stellen ſtabil wurde Aus dieſen Verſuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Waſſers ungefähr 95mal geringer iſt als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müßte alſo die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden.

Die Luft und die Gaſe überhaupt ſind ebenfalls ſehr ſchlechte Wärmeleiter, doch läßt ſich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verſchiedenen Schichten der zu unterſuchenden Luftmaſſe anbringen wollte, wegen der Wärmeſtrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gaſe überhaupt, und die Luft insbeſondere ſchlechte Wärmeleiter ſind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftſchichten umgeben ſind, nur ſehr langſam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechſel der Luftſchichten verhindert wird. Dadurch erklärt ſich die Wirkſamkeit der doppelten Fenſter und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das ſchlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. ſ. w., rühren größtentheils daher, daß die zahlloſen Zwiſchenräume mit Luft ausgefüllt ſind. Solche Körper, von denen wir ſagen, daß ſie warm halten, wie z. B. unſere Kleider, Stroh u. ſ. w. ſind nicht ſelbſt warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer ſchlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in ſolche Körper einhüllt, ſo verhindern ſie das Schmelzen deſſelben, weil ſie die äußere Wärme abhalten.

Siebentes Kapitel.

Verſchiedene Quellen der Wärme.

Wärmeerzeugung durch chemiſche Verbindungen. Nach der 176
Sonne ſind für uns die chemiſchen Verbindungen, beſonders aber die Verbrennung, die wichtigſten Wärmequellen. Faſt jeder chemiſche Proceß iſt von einer Wärmeentwickelung begleitet; Heß hat verſucht, die Geſetze dieſer Wärmeentwickelung zu ermitteln.

Bekanntlich wird Wärme frei, wenn man Schwefelſäurehydrat (engliſche Schwefelſäure $\dot{H}\ddot{S}$) mit Waſſer miſcht. Wenn man das Schwefelſäurehydrat mit 1 Aeq. Waſſer miſcht, dann ein zweites Aequivalent Waſſer zuſetzt u. ſ. w., bis keine merkliche Wärmeentwickelung mehr ſtattfindet, ſo iſt die Summe der nach und nach frei werdenden Wärmemengen gerade eben ſo groß wie die Wärmemenge, welche frei wird, wenn

man dieſelbe Waſſermaſſe nicht nach und nach, ſondern auf einmal zuſetzt. Daraus ſchließt Heß, »daß, wenn eine Verbindung ſtattfindet, die entwickelte Wärmemenge conſtant ſey, mag nun die Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geſchehen.« Dieſer Satz wurde auch noch durch andere Verſuche beſtätigt.

Heß ſowohl als auch Graham und Andrews haben noch viele Verſuche angeſtellt über die Wärmeentwickelung bei chemiſchen Verbindungen, welche auf naſſem Wege vor ſich gehen. Graham hat vorzugsweiſe die bei der Hydratbildung aus waſſerfreien Salzen, Andrews aber die bei der Salzlöſung frei werdende Wärme unterſucht. Letzterer iſt zu folgenden Reſultaten gelangt:

1) Ein Aequivalent verſchiedener Säuren erzeugt bei ſeiner Verbindung mit derſelben Baſis faſt ganz gleiche Wärmemengen

2) Ein Aequivalent verſchiedener Baſen bringt bei ſeiner Verbindung mit derſelben Säure nicht immer dieſelbe Wärme hervor.

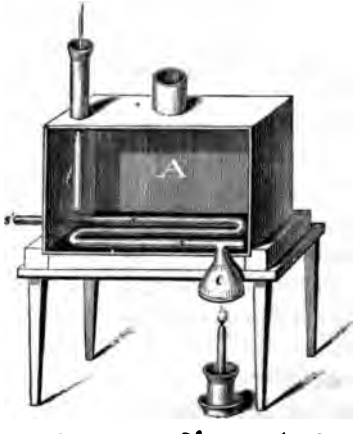
3) Wenn neutrale Salze ſich mit Säuren zu ſauren Salzen verbinden, ſo findet keine Temperaturveränderung Statt.

4) Wenn neutrale Salze durch Aufnahme von einer neuen Quantität Baſis ſich in baſiſche Salze verwandeln, ſo findet eine Wärmeentwickelung Statt.

Sobald die chemiſche Verbindung mit einer Auflöſung eines Körpers begleitet iſt, wird es ſchwer halten, aus dem Verſuche beſtimmte Reſultate abzuleiten, weil man nicht leicht ermitteln kann, welchen Einfluß die Veränderung des Aggregatzuſtandes hat.

Von ganz beſonderer Wichtigkeit iſt die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, alſo durch eine raſche Verbindung der Körper mit Sauerſtoff entwickelt wird.

Fig. 403.



Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu beſtimmen, bedient ſich Rumford eines Calorimeters, Fig. 403, welches zur Beſtimmung der latenten Wärme der Dämpfe dient. Im Rumford'ſchen Calorimeter iſt das Schlangenrohr horizontal, damit die Producte der Verbrennung nicht zu ſchnell entweichen. Der Eingang in das Schlangenrohr iſt durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol iſt der

Verſuch leicht anzuſtellen, man füllt ſie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfange und zu Ende des Verſuchs wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Waſſer des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Waſſer mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt ſich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberückſichtigt laſſen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate, welche Rumford nach dieſer Methode erhalten hat, nebſt anderen, welche Lavoiſier und Laplace mit ihrem Calorimeter und Despretz durch ein dem Rumford'ſchen ähnliches Verfahren erhielt.

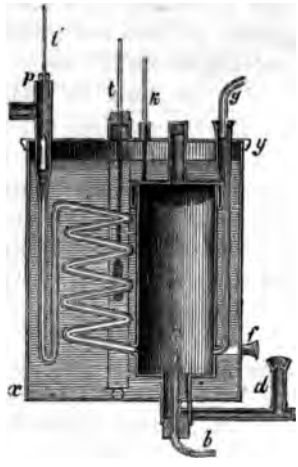
Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche die Verbrennung von 1 Gramm der Subſtanz in 1 Kilogramm Waſſer hervorbringt.
Waſſerſtoffgas	23,4° L. L. und D.
Olivenöl	11,17 L. L.
»	9,04 R.
Weißes Wachs	10,50 L. L.
»	9,48 R.
Rüböl	9,31 R.
Talg	8,37 R.
»	7,19 L. L.
Schwefeläther	8,03 R.
Phosphor	7,50 L. L.
Kohle	7,23 L. L. und D.
Alkohol 42° Baumé	6,19 R.
Holz, ſehr trocken	4,31 R.

Dulong hatte eine große Arbeit über die durch Verbrennung entwickelte Wärme unternommen, wurde aber leider zu früh der Wiſſenſchaft entriſſen, noch ehe er ſie beendigt hatte. Glücklicher Weiſe konnte man noch die wichtigſten Reſultate ſammeln, zu denen er gelangt war.

Der Apparat, deſſen er ſich zu dieſen Unterſuchungen bediente, hatte im Weſentlichen folgende Einrichtung. Der Verbrennungsraum *a*, Fig. 404 (a. f. S.), iſt eine von dünnem Kupferblech gebildete 25 Centimeter hohe rechteckige Kammer, welche 10 Centimeter lang und 7,5 Centimeter breit und ringsum von Waſſer umgeben war, welches ſich in einem 11 Litre faſſenden Gefäße befand.

Durch den Boden des Verbrennungsraumes ragte in denselben eine mit feiner Spitze versehene Röhre *b*, durch welche die zu verbrennenden Gase zuströmten.

Fig. 404.



Das zur Verbrennung nöthige Sauerstoffgas strömte entweder durch die Röhre *g* oder durch *d* zu.

Flüssige Brennstoffe waren in einer durch einen Stopfen verschlossenen Glasröhre enthalten; ein feiner Docht war in die Flüssigkeit eingetaucht.

Wie die Gase und Flüssigkeiten entzündet wurden, weiß man nicht.

Die festen Brennstoffe wurden auf verschiedene Weise zur Verbrennung gebracht. Eisen wurde zu einer Spirale aufgewickelt; andere Metalle wurden in pulverförmigem Zustande in eine Kapsel von Kupfer oder Platin gebracht; um das Zusammenbacken zu verhindern, wurden sie mit einem hier indifferenten Stoffe gemischt. Ihre Entzündung wurde durch ein Stück Zunder bewirkt.

Da die Kohle sich nicht auf diese Weise entzündet, so wurde aus derselben ein Kegel geschnitten, dessen Spitze an einer Weingeistlampe angezündet und dann rasch in den Verbrennungsraum gebracht.

Ein Fenster *f*, welches durch eine Glasplatte verschlossen ist, erlaubt zu sehen, was während des Versuches im Apparate vorgeht.

Die durch die Verbrennung gebildeten Gase entweichen durch ein Schlangenrohr, an dessen Enden sich eine Erweiterung zur Aufnahme eines Thermometers *t'* befindet. Die Gase entweichen, nachdem sie ihre Wärme abgegeben haben, durch das Seitenrohr *p* in ein Gasometer.

Zwei symmetrisch vertheilte Thermometer geben die Temperatur des Apparates an.

Das Wasser wurde durch einen an der Stange *k* befestigten Rührer stets in Bewegung gehalten.

Dulong scheint bei seinen Versuchen die Methode Rumford's befolgt zu haben.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate seiner Versuche.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche in 1 Kilogr. Waſſer hervorgebracht wird durch	
	die Verbrennung von 1 Gr. der Subſtanz.	durch 1 Gr. bei der Verbrennung verzehrten Sauerſtoff.
Waſſerſtoff	34,60	4,32
Sumpfgas	13,35	3,34
Kohlenoxydgas	2,49	4,36
Oelbildendes Gas	12,20	3,56
Abſoluter Alkohol	6,96	3,34
Kohle	7,29	2,73
Terpentinöl	11,57	3,51
Schwefeläther	10,04	3,88
Olivenöl	9,86	»
Schwefel	2,60	2,60
Eiſen	»	4,33
Zinn	»	4,53
Zinnoxydul	»	4,51
Kupfer	»	2,59
Kupferoxydul	»	2,18
Antimon	»	3,82
Zink	»	5,27
Kobalt	»	3,98
Nickel	»	3,71

Thieriſche Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere iſt 177
faſt immer von der Temperatur des Mittels verſchieden, in welchem ſie leben. Die Thiere der Polarländer ſind ſtets wärmer als das Eis, auf welchem ſie leben, in den Aequatorialgegenden aber ſind ſie kälter als die glühende Luft, welche ſie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fiſche nie die Temperatur des Waſſers, von welchem ſie umgeben ſind; der thieriſche Körper hat alſo ſeine eigenthümliche Wärme, er muß ſie alſo auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher unterſuchen: 1) Welches iſt die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches ſind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird dieſe Wärme erzeugt?

Die innere Wärme des Menſchen ſcheint für alle Organe dieſelbe, und zwar derjenigen gleich zu ſeyn, auf welche ein kleines Thermometer ſteigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund ſchließt, bis es nicht mehr ſteigt; dieſe Temperatur iſt 37°. Alter und Klima, Geſundheit oder Krankheit können dieſe Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf ſeiner Reiſe von England nach der Inſel Ceylon

in dieſer Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verſchiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannſchaft beſtimmte, fand er, daß ſie in der heißen Zone allerdings etwas ſtieg; dieſe Temperaturzunahme war aber unbedeutend, ſie betrug nicht ganz 1°. Davy beſtimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der Budhapriester, welche nur Gemüſe, und der Vaidas, welche nur Fleiſch eſſen. Alle dieſe Temperaturen waren nur wenig verſchieden, die niedrigſte von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, ſie betrug 35,8°, die höchſte war die von zwei europäiſchen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahre alt war, ſie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate der von Davy an Thieren angeſtellten Beobachtungen.

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur.	Temperatur der Umgebung.	Beobachtungsort.
	Säugethiere:		
Affe	+ 39,7° C.	30° C.	Colombo
Fledermaus	37,8	28	»
»	38,3	28	»
Vampir	37,8	21	»
Eichhörnchen	38,8	27	»
Gemeine Ratte	38,8	26,5	»
Gemeiner Haaſe	37,8	26,5	»
Ichneumon	39,4	27	»
Tiger	37,2	26,5	»
Hund	39,0	»	Candy
»	39,6	»	»
Schakal	38,3	29	Colombo
Gemeine Katze	38,3	15	London
»	38,9	26	Candy
Panther	38,9	27	Colombo
Pferd (arabiſche Race)	37,5	26	Candy
Hammel	39,3—40,0	Im Sommer	Schottland
»	39,5—40,0	19	Cap der guten Hoffnung
»	40,0—40,6	26	Colombo
Bock	39,5	26	»
Ziege	40,0	26	»
Ochſe	38,9	Im Sommer	Edinburg
»	38,9	26	Candy
Elephant	37,5	26,7	Colombo
Meerſchwein	37,8	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur.	Temperatur der Umgebung.	Beobachtungsort.
Vögel:			
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagay	41,1	24	Candy
Krähe	42,1	31,5	Ceylon
Droſſel	42,8	15,5	London
Sperling	42,1	26,6	Candy
Taube	42,1	15,5	London
»	43,3	25,5	»
Gemeines Huhn	42,5	4,5	Edinburg
»	43,3	25,5	Colombo
Hahn	43,9	25,5	»
Sturmvogel	40,3	26	Auf dem Meere 2° 3′ N. B.
Gans	41,7	25,5	Colombo
Kanarienvogel	43,9	25,5	»
Amphibien:			
Schildkröte	28,9	26	Im Meere 2° 27′ N. B.
Geometriſche Schildkröte	16,9	16	Cap der guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
»	29,2	28,1	»
Fiſche:			
Hayfiſch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Fliegender Fiſch	25,5	25,3	Im Meere 6° 57′ N. B.
Mollusken und Cruſtaceen:			
Auſter	27,8	27,8	Colombo
Krebs	26,1	26,7	»
Krabbe	22,2	22,2	Candy
Inſecten:			
Blatta orientalis	23,3	22,8	»
Weſpe	24,4	23,9	»
Scorpion	25,3	26,1	»
Julus	25,8	26,6	»

Man ſieht aus dieſer Zuſammenſtellung, daß die Blutwärme der Vögel größer iſt als bei allen anderen Thieren; die Säugethiere nehmen den zweiten Rang ein. Bei dieſen beiden Thierklaſſen iſt die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierklaſſen

aber, den Amphibien, Fiſchen u. ſ. w., iſt die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verſchieden.

Welches iſt nun die Quelle der thieriſchen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derſelben Weiſe verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerſtoff der Luft wird in Kohlenſäure verwandelt, es findet alſo im Körper eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoiſier dieſe Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thieriſchen Wärme kein Geheimniß mehr!

Durch die Speiſen wird dem Körper der Kohlenſtoff zugeführt, welcher ſich im Körper mit dem Sauerſtoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenſtoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieſelbe Wärmemenge erzeugt werden, als ob der Kohlenſtoff durch ſchnelle Verbrennung in Kohlenſäure verwandelt worden wäre.

In einer kalten Umgebung verliert der Menſch und das Thier ſtets mehr Wärme als in wärmerer; da aber die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig iſt, ſo iſt klar, daß im Körper mehr Wärme erzeugt werden muß, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er alſo in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme von außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenſtoff zugeführt werden, durch deſſen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer beſtimmten conſtanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt ſich nun, warum der Nordländer mehr Speiſen und beſonders mehr kohlenſtoffhaltige Speiſen zu ſich nehmen muß als der Bewohner der heißen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weiſe zu beſtimmen geſucht: Das Thier wurde in einen Kaſten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine große Maſſe Waſſer eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Waſſers beſtimmt, die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gaſometer geliefert, und die Producte der Reſpiration wurden geſammelt und analyſirt. Ein ſolcher Verſuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte ſich, daß die ausgeathmete Luft feuchter war, daß ein Theil des Sauerſtoffs durch Kohlenſäure erſetzt und daß außerdem noch ein Theil Sauerſtoff verſchwunden war. Der Stickſtoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, daß der Sauerſtoff, welcher in Kohlenſäure verwandelt worden iſt, ſich wirklich beim Reſpirationsproceſſe mit Kohlenſtoff verbunden hat; *nimmt* man ferner an, daß der verſchwundene Sauerſtoff ſich mit Waſſer-

stoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge wird aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme erzeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu seyn.

Liebig hat aber gezeigt, daß der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der großen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und des Thieres ist der Wärmeverlust freilich größer, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muß aber auch bedenken, daß bei sehr kalter Umgebung die freie Bewegung des Thiers gehindert war, daß es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, daß es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren mußte, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel. Daß durch die 178
Compression der Luft Wärme frei wird, ist schon oben angeführt worden; durch rasche Compression der Luft kann eine sehr bedeutende Temperaturerhöhung bewirkt werden, und darauf gründet sich das pneumatische Feuerzeug. Die Flüssigkeiten, welche sich nur wenig comprimiren lassen, zeigen auch nur eine unbedeutende Temperaturerhöhung. Feste Körper werden durch Compression oft bedeutend erhitzt, wie man dies beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten kann. Ob die Temperaturerhöhung fester Körper durch Compression gleichfalls dem Umstande zugeschrieben werden muß, daß mit der größeren Dichtigkeit ihre specifische Wärme geringer wird, daß also ein Theil der Wärme, welche als specifische Wärme in derselben enthalten war, nun bei ihrer Compression als fühlbare Wärme austritt, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden.

Welche bedeutenden Temperaturerhöhungen durch Reibung hervorgebracht werden können, ist allgemein bekannt. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kommt: trockenes Holz läßt sich durch Reibung entzünden, ja an einem laufenden Schleifsteine von 7½ Fuß Durchmesser soll ein eiserner Nagel weißglühend werden. Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen zu geben.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun die 179
wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die Wärme sey. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeer-

ſcheinungen nicht nur der Art, ſondern auch der Größe nach ſo vollſtändig ableiten laſſen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch.

Gewöhnlich ſtellt man ſich die Wärme als einen imponderablen Stoff vor, welcher die Körper durchdringt; dieſe Vorſtellung paßt ſich mancher Erſcheinung, wie z. B. der Wärmeverbindung, der Wärmecapacität ganz gut an, ſie giebt uns für dieſe Erſcheinungen ein ganz gutes Bild, ja die Ausdrücke ſind auch mit Zugrundelegung dieſer Anſicht geſchaffen. Wenn ſich aber auch die Erſcheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, die Wärmeleitung ganz gut mit der Vorſtellung des Wärmeſtoffs vertragen, ſo iſt es doch auf der andern Seite höchſt unwahrſcheinlich, daß es immer ſolche gebe, wie denn wohl überhaupt imponderabele Stoffe aus der Phyſik verſchwinden werden, wie es beim Lichte ſchon der Fall iſt. In der Wärmelehre ſteht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entſpricht, wohl am nächſten bevor.

Einige Erſcheinungen ſind mit der Annahme des Wärmeſtoffs gar nicht zu vereinigen; die Wärmeſtrahlung und Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Geſetze der ſtrahlenden Wärme ſind denen der Lichtſtrahlung ſo ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch der Wärmeſtrahlung einer Vibrationsbewegung zuzuſchreiben. Wenn aber die ſtrahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers ſich fortpflanzt, ſo müßte die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper ſelbſt hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerſcheinungen in der That von ſolchen Vibrationen herrühren, iſt höchſt wahrſcheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande ſind, alle Erſcheinungen der Wärme aus dieſer Hypotheſe nur einigermaßen genügend abzuleiten und wir die Vorſtellung eines Wärmeſtoffs zur leichteren Darſtellung und Ueberſicht noch nicht wohl entbehren können.

Um die Wärmeerſcheinungen durch Vibrationen zu erklären, müßte man wohl annehmen, daß die Temperatur der Körper mit der Oscillationsamplitude wächſt; dadurch würde ſich dann auch die Ausdehnung durch Wärme erklären.

Beim Uebergange aus dem feſten Zuſtande in den flüſſigen und von dieſem in den gasförmigen wird die Anzahl der Vibrationen vermehrt. Bei gleicher Bewegungsgröße iſt eine Vergrößerung der Schwingungszahl nur möglich, wenn die Amplitude kleiner wird, und ſo erklärt ſich die Wärmebindung.

Achter Abſchnitt.

Meteorologie.

Erſtes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmoſphäre, durch welche 180
allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich iſt, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche ſomit als die Quelle alles Lebens auf unſerm Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagsſonne vertical über den Köpfen der Bewohner ſteht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt ſich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Exiſtenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenſtrahlen ſtets allzuſchräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da ſtarrt die Natur von ewigem Eiſe, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Um die Vertheilung der Wärme auf der Oberfläche im Allgemeinen zu überſehen, müſſen wir zunächſt die Folgen der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde unterſuchen.

In Folge der jährlichen Bewegung der Erde verändert die Sonne fortwährend ihre ſcheinbare Stellung am Himmelsgewölbe; der Weg, welchen ſie am Himmelsgewölbe während eines Jahres durchläuft, geht durch 12 Sternbilder hindurch, welche den Thierkreis bilden.

Denken wir uns das Himmelsgewölbe als eine große Hohlkugel, ſo bildet die Sonnenbahn auf dieſer Hohlkugel einen größten Kreis, welcher bekanntlich den Namen Ekliptik führt. Dieſe Ekliptik fällt nicht mit dem Himmelsäquator zuſammen, ſie ſchneidet ihn unter einem Winkel von $23^0\ 28'$.

Zweimal im Jahre, am 21. März und am 21. September, paſſirt die Sonne den Himmelsäquator. Vom März bis zum September befindet ſie ſich auf der nördlichen, vom September bis zum März auf der ſüdlichen

Halbkugel; am 21. Juni erreicht sie ihren nördlichen, am 21. December ihren südlichen Wendepunkt, sie steht am 21. Juni 23° 28′ nördlich, am 21. December 23° 28′ südlich vom Himmelsäquator.

Die Richtung unserer Erdaxe fällt nun mit der Himmelsaxe, die Ebene des Erdäquators mit der des Himmelsäquators zusammen; wenn also die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so treffen ihre Strahlen an jedem Orte des Erdäquators zur Mittagszeit rechtwinklig die Erdoberfläche, während sie die beiden Erdpole nur streifen und die den Polen näher liegenden Gegenden nur sehr schräg treffen.

Denken wir uns parallel mit dem Aequator 23° 28′ nördlich und eben so weit südlich von demselben einen Parallelkreis auf der Erdoberfläche gezogen, so ist ersterer der Wendekreis des Krebses, letzterer der Wendekreis des Steinbocks. Alle Orte, welche auf diesen Wendekreisen liegen, werden einmal im Jahre rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen, und zwar ist dies für den Wendekreis des Krebses am 21. Juni, für den Wendekreis des Steinbocks am 21 December der Fall.

Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, wird die heiße Zone genannt, weil hier die immer nur wenig schräg auffallenden Sonnenstrahlen die kräftigste Wirkung hervorbringen können.

Auf dem Aequator ist die Wärme das ganze Jahr hindurch ziemlich gleichförmig vertheilt, weil ja zweimal im Jahre die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf den Boden treffen und weil sie in den Zwischenzeiten auch nicht sehr schräg einfallen.

Je mehr man sich den Wendekreisen nähert, desto merklicher werden die Unterschiede der Temperatur in verschiedenen Zeiten des Jahres, desto deutlicher spricht sich der Charakter der Jahreszeiten aus. Auf den Wendekreisen fallen die Sonnenstrahlen nur einmal des Jahres rechtwinklig auf die Erdoberfläche, und einmal machen sie einen Winkel von 47° mit der Richtung des Bleiloths, sie fallen also schon bedeutend schräg auf; die Temperatur der heißesten und kältesten Jahreszeit, welche ein halbes Jahr auseinander liegen, sind schon ziemlich bedeutend von einander verschieden.

Auf beiden Seiten der heißen Zone, von den Wendekreisen bis zu den Polarkreisen (die Polarkreise sind diejenigen Parallelkreise, für welche der längste Tag gerade 24 Stunden dauert, sie liegen gerade 66° 32′ nördlich und südlich vom Erdäquator) liegen die nördliche und südliche gemäßigte Zone; die vier Jahreszeiten sind in ihnen am entschiedensten ausgesprochen; im Allgemeinen nimmt natürlich die Wärme mit der Entfernung vom Aequator ab.

Um die beiden Pole herum bis zu den Polarkreisen liegen die nördliche und die südliche kalte Zone.

In Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe nimmt die Sonne an

der ſcheinbaren Bewegung aller Geſtirne Theil; eine Folge dieſer täglichen Bewegung iſt bekanntlich die Abwechſelung zwiſchen Tag und Nacht. Nur während des Tages wird die Erdoberfläche durch die Sonnenſtrahlen erwärmt, nach Sonnenuntergang ſtrahlt ſie Wärme gegen den Himmelsraum aus, ohne daß dieſer Verluſt erſetzt wird, während des Nachts muß alſo die Erdoberfläche erkalten.

Unter dem Aequator iſt Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleich; jeder Tag und jede Nacht dauert 12 Stunden; ſobald man ſich aber von dem Aequator entfernt, wechſelt die Tageslänge mit der Jahreszeit, und dieſer Wechſel wird um ſo auffallender, je mehr man ſich den Polen nähert. Die folgende Tabelle enthält die Dauer des längſten Tages für verſchiedene geographiſche Breiten:

Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.	
0	12	Stunden
16° 44′	13	»
30° 48′	14	»
41° 24′	15	»
49° 22′	16	»
54° 31′	17	»
58° 27′	18	»
61° 19′	19	»
63° 23′	20	»
64° 50′	21	»
65° 48′	22	»
66° 21′	23	»
66° 32′	24	»
67° 23′	1	Monat
69° 50′	2	»
73° 39′	3	»
90	6	»

Unter dem Aequator kann alſo der Wechſel der Tageslänge keinen Einfluß auf den Gang der Wärme in verſchiedenen Jahreszeiten haben. Da ſelbſt unter den Wendekreiſen die Ungleichheit der Tageslänge noch nicht ſehr bedeutend iſt, ſo kann alſo zwiſchen den Tropen überhaupt der Wechſel der Tageslänge nicht viel die Temperaturunterſchiede zwiſchen der heißen und kalten Jahreszeit vergrößern oder verkleinern; in ſehr hohem Grade iſt dies aber bei hohen Breiten der Fall.

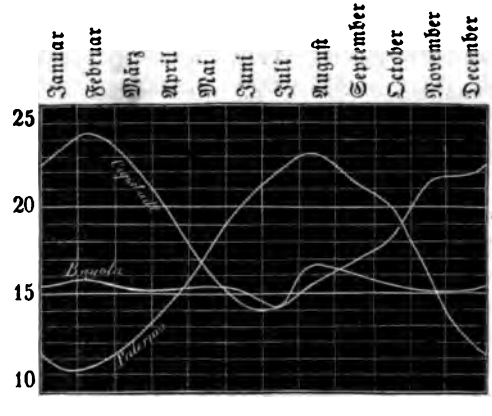
Im Sommer, wenn die Sonnenſtrahlen weniger ſchräg auffallen, verweilt in höheren Breiten die Sonne auch länger über dem Horizonte: die längere Dauer der Einwirkung erſetzt, was den Sonnenſtrahlen an Intenſität abgeht, und ſo kommt es, daß es ſelbſt an Orten, die ſehr weit vom

Aequator entfernt liegen, im Sommer ſehr heiß werden kann (in Petersburg ſteigt das Thermometer an heißen Sommertagen bisweilen auf 30°); im Winter hingegen, wo die ohnehin ſchräger auffallenden Sonnenſtrahlen überhaupt nur wenig wirken können, iſt der Tag obendrein ſehr kurz, die Nacht aber, während welcher der Boden ſeine Wärme ausſtrahlt, außerordentlich lang; und ſo muß alſo im Winter die Temperatur ſehr tief ſinken. Der Unterſchied zwiſchen der Temperatur des Sommers und des Winters wird alſo im Allgemeinen um ſo größer ſeyn, je weiter man ſich vom Aequator entfernt.

In Bogota, welches 4° 35′ nördlich vom Aequator liegt, beträgt die Temperaturdifferenz des heißeſten und kälteſten Monats nur 2°; in Mexico (19° 25′ N. B.) beträgt dieſe Differenz 8°; für Paris (48° 50′ N. B.) 27°, für Petersburg (59° 56′ N. B.) 32°.

Recht anſchaulich werden dieſe Verſchiedenheiten durch die graphiſchen Darſtellungen in Fig. 405 und Fig. 406 gemacht. Fig. 405 ſtellt die Ab- und Zunahme der mittleren Temperatur von Monat zu Monat für Sta. Fe de Bogota, Palermo und die Capſtadt, Fig. 406 (a. f. S.) aber ſtellt ſie für Mexico, Paris, Moskau und Boothia Felix dar. Für Bogota iſt die mittlere Temperatur des Februars nahe 16°, ſie ſinkt gegen Ende März auf 15°, die niedrigſte Temperatur von 14½° fällt in den Monat Juli, im Auguſt aber erreicht die Wärme ein Maximum von 16½°; die Kurve für Bogota zeigt alſo in ihrem Verlaufe durchaus kein ſtarkes Steigen und Fallen; die Jahreszeiten erſcheinen hier ganz verwiſcht.

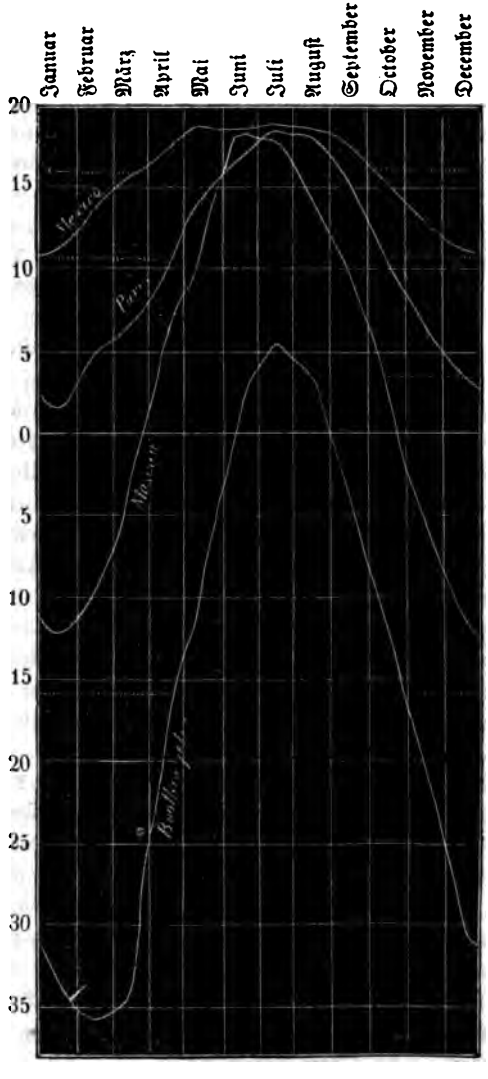
Fig. 405.



Anders verhält es ſich in Palermo (38° 7′ N. B.). Hier herrſcht gegen Ende Januar die niedrigſte Temperatur des ganzen Jahres, nämlich 10,3°; dann nimmt die Wärme zu bis zum Anfang Auguſt, wo die mittlere Temperatur etwas über 23° beträgt; die Kurve für Palermo ſteigt und ſinkt alſo ſchon ſehr bedeutend im Vergleich gegen die von Bogota. Die Kurve für das Cap der guten Hoffnung iſt der von Palermo ſehr ähnlich, nur fällt natürlich der Sommer am Cap mit der kalten Jahreszeit in

Palermo zuſammen, weil das Cap auf der ſüdlichen, Palermo auf der nördlichen Halbkugel liegt.

Fig 406.



Die Temperaturkurve für Mexico, welches dem Wendekreiſe des Krebſes ſehr nahe liegt, iſt noch nicht ſehr ſteil, ſchon ſteiler iſt die Kurve für Paris, ſehr ſteil endlich ſind die Kurven für Moskau und Boothia Felix; an dem zuletzt genannten Orte beträgt die Temperaturdifferenz zwiſchen dem heißeſten und kälteſten Monat 41°.

Aus den oben angedeuteten Betrachtungen folgt alſo:

1) Daß die Wärme von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß.

2) Daß in der Nähe des Aequators die Wärme über das ganze Jahr ziemlich gleichförmig verbreitet iſt, daß alſo der Charakter unſerer Jahreszeiten dort ganz verwiſcht ſeyn muß.

3) Daß die Jahreszeiten mit der Entfernung vom Aequator immer deutlicher vortreten und daß zugleich die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur immer bedeutender wird.

4) Daß ſelbſt bis in die Nähe der Polarkreiſe der Sommer noch bedeutend heiß ſeyn kann.

Alles dies finden wir auch durch die Erfahrung beſtätigt, und dennoch lehrt uns eine ſolche Betrachtung die Wärmevertheilung auf der Erde nur in ſehr groben Zügen kennen; es iſt unmöglich aus der geographiſchen Breite eines Ortes einen auch nur einigermaßen ſichern Schluß auf ſeine klimatiſchen Verhältniſſe zu ziehen.

Wenn die ganze Erdoberfläche mit Waſſer bedeckt oder wenn ſie nur durch feſtes überall flaches Land gebildet wäre, welches überall von gleicher Beſchaffenheit an allen Orten eine gleiche Fähigkeit beſäße, die Wärmeſtrahlen zu abſorbiren und wieder auszuſtrahlen; ſo würde die Temperatur eines Ortes nur noch von ſeiner geographiſchen Breite abhängen, alle Orte deſſelben Breitengrades müßten ein gleiches Klima haben. Nun aber iſt die Wirkung, welche die Sonnenſtrahlen hervorbringen können, durch mannichfache Urſachen modificirt, das Klima einer Gegend hängt nicht allein von der Richtung der Sonnenſtrahlen, ſondern auch von den Umſtänden ab, unter welchen ſie wirken; es hängt ab von der Geſtaltung des Landes und des Meeres, von der Richtung und Höhe der Gebirgszüge, von der Richtung der herrſchenden Winde u. ſ. w. Daher kommt es denn, daß Orte von gleicher geographiſcher Breite oft ein ſehr ungleiches Klima haben, und man ſieht leicht ein, daß theoretiſche Betrachtungen nicht ausreichen, um die klimatiſchen Verhältniſſe abzuleiten; die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt ſich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgeſetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwiſſenſchaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerſt mit Erfolg betreten. Auf ſeinen Reiſen auf beiden Hemiſphären hat er mit unermüdlichem Eifer Thatſachen geſammelt und hat durch geiſtreiche Combination dieſer Thatſachen zuerſt eine wiſſenſchaftliche Meteorologie begründet.

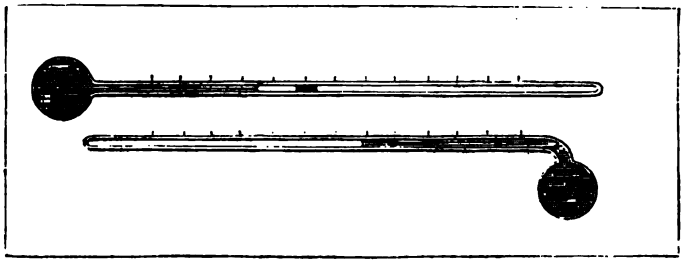
181 **Beobachtung des Thermometers.** Um die Temperatur der Luft an einem Orte genau beſtimmen zu können, muß man ein gutes Thermometer auf der Nordſeite eines Gebäudes in der freien Luft 3 bis 4 Decimeter von der Wand aufſtellen, ſo daß es nicht von den Sonnenſtrahlen getroffen werden kann; auch darf keine weiße Wand in der Nähe ſeyn, von der man befürchten muß, daß ſie Wärmeſtrahlen nach dem Thermometer reflectirt. Wenn das Thermometer naßgeregnet iſt, ſo muß man die Kugel 5 Minuten, bevor man es ableſen will, vorſichtig abtrocknen, denn die anhängenden Waſſertropfen würden durch ihre Verdunſtung die Temperatur des Queckſilbers in der Kugel erniedrigen.

Es iſt für die Meteorologie oft von der größten Wichtigkeit, die höchſte und die niedrigſte Temperatur zu erfahren, welche während irgend eines Zeitraumes geherrſcht hat, ohne daß man nöthig hat, gerade in den Momenten das Thermometer zu beobachten, in welchen das Maximum oder

Minimum ſtattfindet. Dies erreicht man nun durch den Thermometrographen ſowohl als durch das Maximum- und Minimumthermometer von Walferdin.

Das Thermometrograph iſt Fig. 407 abgebildet; es beſteht aus

Fig. 407.

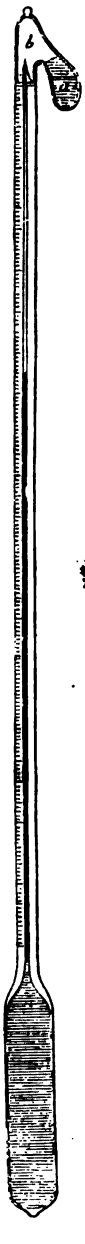


zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen und von denen das eine ein Queckſilberthermometer, das andere ein Weingeiſtthermometer iſt. In der Röhre des Queckſilberthermometers liegt ein Stahlſtiftchen, welches durch die Queckſilberſäule fortgeſchoben wird, wenn ſich das Queckſilber in der Kugel dieſes Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer wieder erkaltet, ſo zieht ſich die Queckſilberſäule wieder zurück, das Stahlſtäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchſten Stande des Thermometers geſchoben worden war; ein ſolches Thermometer giebt alſo das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewiſſen Periode geherrſcht hat.

In der Röhre des Weingeiſtthermometers liegt ein ganz feines Glasſtäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker iſt, wie man Fig. 407 deutlich ſieht; das Glasſtäbchen liegt noch in dem Weingeiſtſäulchen, und wenn der Weingeiſt in der Kugel erkaltet und ſich die Weingeiſtſäule in der Röhre bis an das erſte Knöpfchen des Glasſtäbchens zurückgezogen hat, ſo wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasſtäbchen in Folge der Adhäſion zwiſchen Weingeiſt und Glas durch die noch weiter ſich zurückziehende Weingeiſtſäule mitgenommen; wenn aber die Flüſſigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, ſo geht beim Steigen des Thermometers die Flüſſigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuſchieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glaſe gemacht ſeyn muß, damit man es deutlich ſehen kann, bleibt alſo an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entſpricht, welche innerhalb eines gewiſſen Zeitraumes herrſchte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, ſo liegt die des andern links, und wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leiſe daran ſtößt, ſo fällt das Stahlſtäbchen durch ſein Gewicht

Fig. 408



bis auf die Queckſilberſäule, das Glasſtäbchen aber bis an das Ende der Weingeiſtſäule herab. Wenn man das ſo vorgerichtete Inſtrument ſtehen läßt, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlſtäbchen fortgeſchoben, das Glasſtäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieſes Inſtrument iſt beſonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand ſetzt, ſo kann man den folgenden Abend ableſen, welches die höchſte und welches die niedrigſte Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Walferdin's Maximumthermometer iſt Fig. 408 abgebildet. Es iſt ein gewöhnliches Queckſilberthermometer, welches an ſeinem oberen Ende einen Ausflußbehälter *a* hat, in welches die offene Spitze *b* der Thermometerröhre hineinragt. Um dies Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, neigt man es etwas, ſo daß die Spitze des Thermometerrohres ganz von dem Queckſilber des Ausflußbehälters umgeben iſt; man erwärmt es dann, bis die ganze Röhre mit Queckſilber gefüllt iſt, Fig. 409, und läßt es dann bis zu einer Temperatur erkalten, die ſicherlich unter dem zu beobachtenden Maximum liegt; alsdann ſtellt man das Thermometer wieder aufrecht, ſo daß das überflüſſige Queckſilber wieder von der Spitze weg in den ſackartigen Behälter zurückfließt. Nehmen wir an, man habe das Thermometergefäß, um es zu erkalten, in Waſſer getaucht, deſſen Temperatur genau 20° beträgt, ſo iſt alſo bei 20° die Thermometerröhre vollſtändig mit Queckſilber gefüllt; ſobald es alſo einer Temperatur ausgeſetzt wird, welche über 20° hinausgeht, muß das Queckſilber in Tröpfchen aus der Spitze der Röhre auslaufen (Fig. 410). Wenn man nun das Thermometergefäß wieder auf 20° erkaltet, ſo wird nicht mehr die ganze Röhre mit Queckſilber angefüllt ſeyn, ſondern der Gipfel der Queckſilberſäule wird jetzt tiefer ſtehen, weil ja ein Theil des Queckſilbers ausgefloſſen iſt. Nehmen wir an, der Gipfel der Queckſilberſäule ſtünde jetzt 15°

Fig 409.

Fig. 410.

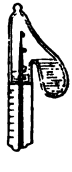
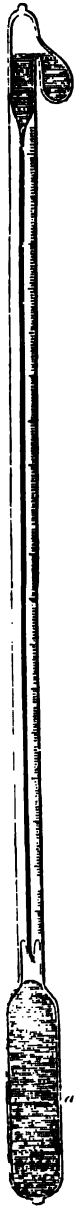


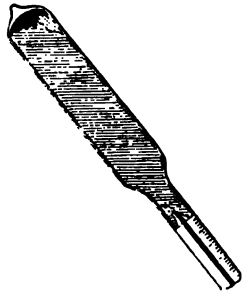
Fig. 411.



unter der Spitze *b*, so ist klar, daß bei einer Temperatur von 20 + 15° die Röhre wieder ganz mit Quecksilber ausgefüllt seyn würde: das Maximum der Temperatur, welcher das Thermometer unterdessen ausgesetzt war, wäre also für diesen Fall 35°.

Walferdin's Minimumthermometer ist Fig. 411 dargestellt. Das Gefäß *a* ist mit Quecksilber gefüllt, über welchem sich etwas Weingeist befindet; in diesen Weingeist ragt die Spitze der Thermometerröhre herab. Um das Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, erkaltet man es unter die Temperatur, welcher es ausgesetzt werden soll, kehrt es alsdann um, wie man Fig. 412 sieht, und treibt dadurch, daß man es nun wieder etwas erwärmt, eine Quecksilbersäule in die Röhre, welche ungefähr die Länge von 15 Graden einnimmt; darauf wird das Thermometer wieder in seine aufrechte Stellung gebracht, und dadurch, daß man es in ein Wasserbad von genau bekannter Temperatur taucht, auf eine Temperatur gebracht, welche jedenfalls höher ist als das zu erwartende Temperaturminimum; die Stelle, an welcher jetzt der Gipfel der Quecksilbersäule steht, wird nun notirt. Nehmen wir an, der Gipfel der Quecksilbersäule stehe bei 20° und die Temperatur des Wasserbades sey 12° gewesen. Sobald nun das Thermometer niedrigeren Temperaturen ausgesetzt wird, sinkt die Quecksilbersäule, und ein Theil des Quecksilbers tröpfelt aus der Röhre durch den Weingeist in das untere Gefäß; wenn nun auch die Temperatur wieder steigt, so tritt doch kein Quecksilber mehr in die Röhre, der Quecksilberfaden ist also jetzt kürzer als vorher; nehmen wir an, er nehme nur noch eine Länge von 6° ein, so muß unterdeß die Temperatur um 20—6, also um 14° unter die Temperatur des Wasserbades gefallen gewesen seyn, das Minimum der Temperatur, welcher unterdeß das Thermometer ausgesetzt gewesen war, wäre also für unseren Fall 12—14, also —2° gewesen.

Fig. 412.

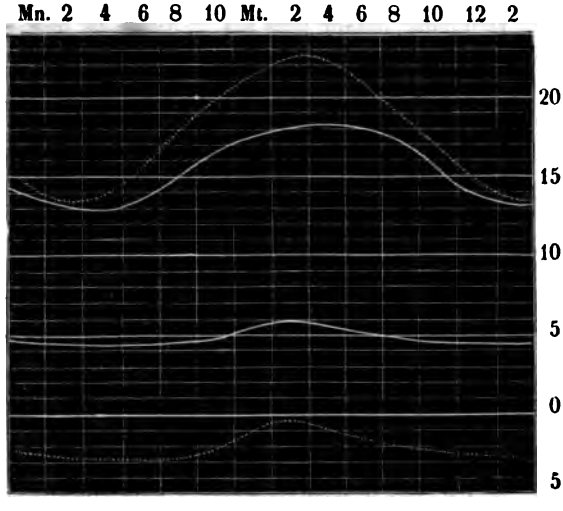


Walferdin's Maximumthermometer wird gewöhnlich angewandt, um die Temperatur in tiefen Bohrlöchern, das Minimumthermometer, um die Temperatur des Meeres in bedeutenden Tiefen zu erforſchen.

182 **Tägliche Veränderungen der Temperatur.** Um alle Veränderungen der Wärme der Atmoſphäre während 24 Stunden genau verfolgen zu können, müßte man ein Thermometer in möglichſt kurzen Zwiſchenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, beobachten. Wenn ſolche Beobachtungen längere Zeit fortgeſetzt werden ſollen, ſo iſt klar, daß eine einzelne Perſon ſie nicht anſtellen kann und daß wenigſtens mehrere ſich zu dieſem Zwecke vereinigen müſſen; jedenfalls iſt es ſehr mühſam, ſolche Beobachtungsreihen anzuſtellen. Chiminello ſtellte zuerſt eine ſolche Reihe von Beobachtungen in Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten an; ſpäter wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewſter's Veranlaſſung auf dem Fort Leith bei Edinburg angeſtellt, andere von Gatterer in Göttingen, Kupffer in Petersburg, Kämtz in Halle u. ſ. w. Die Fig. 413 ſtellt den ſich aus ſolchen Beobachtungen ergebenden täglichen Gang der Temperatur für den heißeſten und kälteſten Monat zu Halle und Leith dar.

Die ausgezogenen Kurven gelten für Leith, die punktirten für Halle.

Fig. 413.



In Halle iſt die mittlere Temperatur um 1 Uhr Nachts für den heißeſten Monat (Juli) 14°; ſie erreicht kurz vor 3 Uhr Morgens ihr Minimum von 13,4°, ſie ſteigt alsdann fortwährend bis 3 Uhr Nachmittags,

wo sie ihr Maximum von 22,6° erreicht, worauf sie dann wieder sinkt.

Im Januar, dem kälteſten Monate, beobachtet man das Minimum der täglichen Wärme, nämlich — 5,86°, ungefähr um 7 Uhr Morgens, das Maximum von — 0,59° aber ungefähr um 1 Uhr Nachmittags.

Für Leith findet das Minimum der Temperatur während des wärmſten Monats (Juli), nämlich eine Temperatur von 13°, Morgens um 4 Uhr, das Maximum von 18,24° gegen 5 Uhr Nachmittags Statt. Während des kälteſten Monats (Januar) ſchwankt das Thermometer zu Leith zwiſchen einem Maximum von 5,89° und einem Minimum von 4,41°; erſteres fällt ungefähr um 3 Uhr Nachmittags, letzteres ungefähr um 6 Uhr Morgens

Das Minimum der Temperatur findet alſo kurz vor Sonnenaufgang, das Maximum einige Stunden nach Mittag Statt, und zwar im Sommer ſpäter, in Winter früher.

Dieſer Gang läßt ſich leicht erklären. Vor Mittag, während die Sonne ſtets höher und höher ſteigt, empfängt die Erdoberfläche mehr Wärme als ſie ausſtrahlt, ihre Temperatur und die Temperatur der Atmoſphäre muß alſo ſteigen; dies dauert nun auch noch etwas über Mittag hinaus; wenn die Sonne aber tiefer ſinkt, wenn ihre Strahlen weniger wirkſam werden, ſo ſtrahlt die erwärmte Erde mehr Wärme aus, als durch die Sonnenſtrahlen erſetzt werden kann; dieſe Erkaltung dauert natürlich nach Sonnenuntergang noch fort, bis die Morgenröthe die Wiederkehr der Sonne ankündigt.

Nicht immer werden die täglichen Schwankungen des Thermometers dieſen normalen Gang verfolgen, weil derſelbe oft durch fremde Einflüſſe, z. B. durch Umſchlagen der Witterung, geſtört wird; um das Geſetz der täglichen Wärmeveränderungen mit Sicherheit zu ermitteln, muß man deshalb den normalen Gang aus einer Combination möglichſt zahlreicher Beobachtungen ableiten.

An manchen Orten leidet der normale Gang der täglichen Wärmevariationen durch örtliche Einflüſſe, z. B. durch Windſtrömungen, regelmäßige Störungen, wodurch die Zeit des Maximums eine beſtändige Verrückung erleidet; ſo tritt an manchen Meeresküſten der heißen Zone das Maximum der täglichen Temperatur ſchon vor Mittag, z. B. im Mai zu Madras um 11 Uhr 18′ ein.

Die Betrachtung der Kurven, Fig. 413, führt uns noch zu anderen intereſſanten Reſultaten. In Halle ſchwankt das Thermometer während des heißeſten Monats in 24 Stunden durchſchnittlich zwiſchen 13,5° und 22,5°, alſo um 9°, während für denſelben Monat die Gränzen der täglichen Schwankungen des Thermometers für Leith nur etwas mehr als 5° auseinanderliegen; ein ähnliches Verhalten finden wir auch bei den

Winterkurven; auch hier ſind die täglichen Veränderungen des Thermometerſtandes für Halle bedeutender als für Leith; außerdem zeigen uns dieſe Kurven, daß der Sommer in Halle wärmer, der Winter aber kälter iſt als in Leith. Wir werden auf dieſen wichtigen Punkt zurückkommen, wenn wir die Unterſchiede zwiſchen einem Land- und Seeklima beſprechen werden.

Wenn man das Mittel aus je 24ſtündlichen Beobachtungen nimmt, ſo erhält man die mittlere Temperatur des Tages; ſo ergiebt ſich aus den Beobachtungen, nach welchen Fig. 413 conſtruirt wurde, 18,2° für Halle und 15,7° für Leith als die mittlere Tagestemperatur im Monat Juli; — 2,05° und 5° aber für die mittlere Tagestemperatur im Monat Januar für Halle und Leith.

Da es ungemein mühſam iſt, ſtündliche Thermometerbeobachtungen längere Zeit hindurch fortzuſetzen, ſo iſt es für die Meteorologie von der größten Wichtigkeit, Methoden ausfindig zu machen, durch welche man die mittlere Tagestemperatur ohne dieſe ſtündlichen Beobachtungen ausfindig machen kann. Zweimal des Tages muß das Thermometer die mittlere Tagestemperatur angeben, es ſcheint alſo am einfachſten, die Stunden auszumitteln, in welchen dies der Fall iſt, und dann nur zu dieſen Stunden das Thermometer abzuleſen; dieſe Beſtimmungsweiſe kann aber leicht zu Unrichtigkeiten führen, weil ſich der Stand der Thermometer gerade zu der Zeit am ſchnellſten verändert, weil man alſo einen bedeutenden Fehler begehen kann, wenn man nur etwas zu früh oder zu ſpät beobachtet. Ein weit richtigeres Reſultat erhält man, wenn man das Thermometer in mehrere gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr und 10 Uhr Abends, beobachtet; dies Mittel iſt, wie Brewſter gezeigt hat, bis auf $\frac{1}{10}$ Grad genau; auch erhält man ein brauchbares Reſultat, wenn man um 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends beobachtet und aus dieſen drei Beobachtungen das Mittel nimmt.

Das Mittel zwiſchen dem innerhalb 24 Stunden ſtattfindenden höchſten und niedrigſten Thermometerſtande weicht, wie Humboldt durch die Vergleichung zahlreicher Beobachtungen gezeigt hat, die er zu Paris und unter dem Aequator anſtellte, nur um einige Zehntel eines Grades von der wahren mittleren aus allen ſtündlichen Beobachtungen abgeleiteten Temperatur ab. Das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur läßt ſich am bequemſten und am genaueſten mit Hülfe eines Thermometrographen ermitteln.

Durch die Vergleichung der wahren mittleren Tagestemperatur mit dem Mittel aus dem höchſten und niedrigſten Thermometerſtande läßt ſich ein Correctionsfactor ermitteln, vermittelſt deſſen man im Stande iſt, aus der

Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums ganz genau das wahre Tagesmittel zu berechnen, ja man ist durch die Kenntniß des täglichen Ganges der Wärme im Stande, aus Beobachtungen, die zu beliebigen Stunden des Tages gemacht worden sind, das Tagesmittel abzuleiten, doch können wir hier nicht weiter darauf eingehen.

Wenn man für irgend einen Tag durch die nöthigen Beobachtungen die mittlere Temperatur ermittelt hat, so wird man in einem anderen Jahre an demselben Tage nicht genau dieselbe Temperatur, sondern bald eine höhere, bald eine tiefere finden; so ergaben sich aus den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für die mittlere Temperatur des 14. Juli von 1837 bis 1842 folgende Werthe:

1837	16,4° R.
1838	22,2
1839	19,5
1840	12,0
1841	13,8
1842	18,5
	Mittel 17,06° R.

Für Frankfurt a. M. ist also nach diesen 5jährigen Beobachtungen die mittlere Temperatur des 14. Juli 17,06° R. Eine so kurze Periode reicht jedoch nicht hin, um die Durchschnittszahl der mittleren Temperatur irgend eines Tages im Jahre mit Sicherheit zu ermitteln.

Mittlere Temperatur der Monate und des Jahres. Wenn 183
man die mittlere Temperatur aller Tage eines Monates kennt, so hat man nur die Summe der mittleren Tagestemperaturen durch die Anzahl der Tage zu dividiren, um die mittlere Temperatur des Monats zu erhalten.

Nimmt man das arithmetische Mittel aus den für die 12 Monate des Jahres gefundenen Mitteltemperaturen, so erhält man die mittlere Temperatur des Jahres.

So ergab sich z. B. aus den Beobachtungen zu Paris für das Jahr 1803 die mittlere Temperatur 10,5°; 11,1° für 1804; 9,7° für 1805 u. s. w.

Man sieht, daß die mittlere Jahrestemperatur von einem Jahre zum andern sich ändert. Wenn man aus einer möglichst großen Anzahl aus den Beobachtungen abgeleiteter Jahresmittel die Durchschnittszahl nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur eines Ortes.

Während die mittlere Jahrestemperatur an einem und demselben Orte

nur unbedeutend schwankt, ist die Verschiedenheit der mittleren Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum anderen oft sehr verschieden, so war z. B. die mittlere Temperatur des Monats Januar im Jahre 1823 zu Berlin $-9{,}4^{0}$, im Januar 1834 aber $+2{,}8^{0}$, also 12^{0} höher als 1823.

Wenn man die mittleren Temperaturen eines Monats für eine möglichst große Reihe von Jahren kennt und aus diesen das Mittel nimmt, so erhält man eine Zahl, welche wir zur Unterscheidung von dem, was oben die mittlere Temperatur eines Monats genannt wurde, die Normaltemperatur des Monats nennen wollen. So ergiebt sich z. B. für Berlin $-1{,}87^{0}$ als Normaltemperatur für den Monat Januar aus den Beobachtungen von 1801 bis 1825.

Auf gleiche Weise kann auch die Normaltemperatur für jeden einzelnen Tag des Jahres ermittelt werden.

184 **Gang der jährlichen Wärmevariationen.** Wenn man die Normaltemperatur an irgend einem Orte für alle Monate des Jahres kennt, so läßt sich daraus der normale Gang der Wärme im Laufe des Jahres übersehen.

Noch deutlicher ergeben sich die Gesetze des normalen Ganges der Wärme, wenn man ihn nicht aus der Normaltemperatur der einzelnen Monate, sondern aus kleineren Zeitabschnitten, etwa aus den Normaltemperaturen einzelner Tage ableitet.

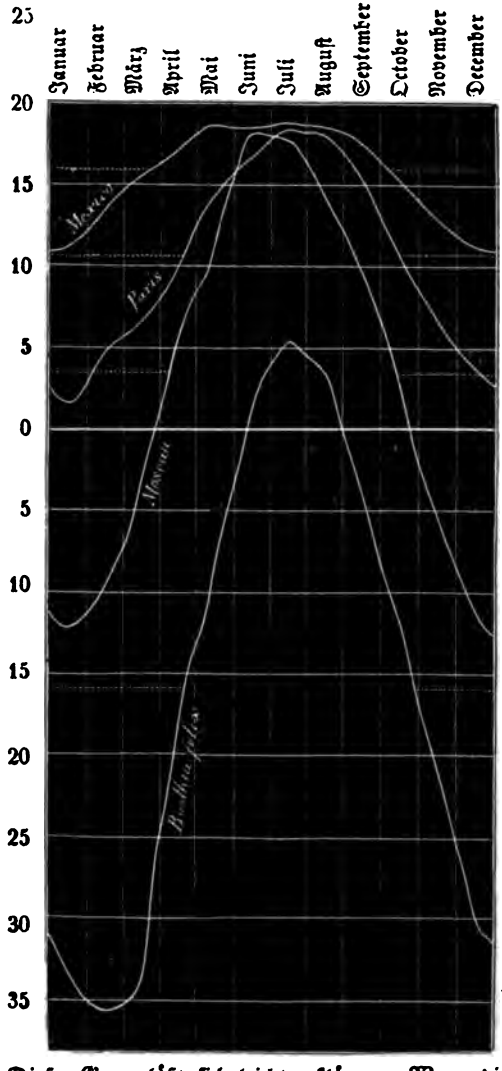
Die Fig. 414 zeigt den normalen Gang der Temperatur im Laufe eines Jahres für die beigeschriebenen Orte.

Aus Fig. 414 (a. f. S.) sieht man, daß das Minimum der Temperatur in Mexico in der Regel auf den Anfang Januar, in Paris und Moskau auf die Mitte des Januar, für Boothia Felix aber auf die Mitte des Februar fällt. Die heißeste Zeit ist für Paris die letzte Hälfte des Juli und die erste des August, für Moskau die letzte Hälfte des Juni und die erste des Juli, für Boothia Felix die Mitte des Juli.

Da die Temperatur ungefähr während eines halben Jahres höher, während des andern halben Jahres aber niedriger ist als die mittlere Jahrestemperatur, so ist klar, daß der mittlere Gang der Wärme zweimal die mittlere Jahrestemperatur passiren muß, und es läßt sich schon im Voraus denken, daß dies im Frühjahr und im Herbst der Fall seyn wird. Wie man in unserer Figur sieht, ist die mittlere Jahrestemperatur für jeden der vier Orte durch eine horizontale punktirte Linie angedeutet, welche auf beiden Seiten vom Rande der Figur bis zur entsprechenden Temperaturkurve geht; man übersieht auf diese Weise leicht, daß für Paris und Moskau ungefähr in der Mitte April und October die mittlere Jahres-

temperatur herrschen wird. In Boothia Felix herrscht die mittlere Jahrestemperatur ebenfalls in der Mitte April und zu Ende October, in Mexico im März und im October.

Fig. 414.



Für Frankfurt a. M. tritt der mittlere Wärmegrad des ganzen Jahres durchschnittlich am 8. April und am 18. October ein.

Aus zahlreichen Temperaturbeobachtungen geht hervor, daß in der nördlichen gemäßigten Zone die mittlere Jahrestemperatur in der Regel auf den 24. April und den 21. October fällt; der jährliche Gang der Wärme ist demnach in diesen Gegenden folgender. Die Temperatur steigt von der Mitte Januar anfangs langsam, schneller im April und Mai, dann wieder langsamer bis zur Mitte Juli, darauf nimmt sie wieder ab, und zwar langsam im August, schneller im September und October, und erreicht in der Mitte Januar wieder ihr Minimum. Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Wenn die Sonne nach dem Wintersolstitium wieder höher steigt, so geschieht doch dieses Steigen so langsam, die Tage nehmen so wenig zu, daß noch keine kräftigere Wirkung der Sonnenstrahlen möglich ist, das Minimum der Jahrestemperatur

findet deshalb nach dem Winterſolſtitium Statt; ein Steigen der Temperatur findet erſt Statt, wenn die Sonne ſchon etwas weiter nach Norden gerückt iſt; um die Zeit der Aequinoctien ſchreitet die Sonne am Himmelsgewölbe am ſchnellſten gegen Norden vor, deshalb iſt um dieſe Zeit die Temperaturzunahme auch am merklichſten.

Wenn die Sonne ihren höchſten Stand erreicht hat, iſt die Erde noch nicht ſo ſtark erwärmt, daß die Wärme, welche der Boden durch die Ausſtrahlung verliert, der Wärmemenge gleich iſt, welche er durch die Sonnenſtrahlen erhält; dieſer Gleichgewichtszuſtand würde ſich, wenn die Sonne längere Zeit an dem nördlichen Wendepunkte ſtehen bliebe, erſt nach einiger Zeit herſtellen. Nun geht aber die Sonne nach dem Sommerſolſtitium anfangs nur ſehr langſam zurück, die Wirkung der Sonnenſtrahlen iſt einige Zeit hindurch faſt noch eben ſo ſtark wie im Momente des Solſtitiums ſelbſt; die Temperatur wird alſo auch noch nach dem längſten Tage, und zwar bis zur Mitte Juli, ſteigen, um dann wieder abzunehmen.

Dieſe Betrachtungen führen uns auf die Eintheilung des Jahres in vier Jahreszeiten.

Für die Meteorologie iſt die aſtronomiſche Eintheilung, bei welcher die Jahreszeiten durch die Aequinoctien und Solſtitien abgegränzt ſind, nicht ganz zweckmäßig; am paſſendſten möchte es wohl ſeyn, das Jahr ſo einzutheilen, daß der heißeſte Monat (Juli) in die Mitte des Sommers, der kälteſte Monat (Januar) in die Mitte des Winters fällt. Demnach umfaßt der Winter die Monate December, Januar, Februar; der Frühling März, April, Mai; der Sommer Juni, Juli, Auguſt; der Herbſt September, October und November. Nach dieſer Bedeutung ſind auch die Jahreszeiten in der folgenden Tabelle zu nehmen, welche für eine große Anzahl von Orten, die über die ganze Erde zerſtreut liegen, die Normaltemperaturen für das ganze Jahr, die einzelnen Jahreszeiten, den heißeſten und kälteſten Monat enthält. Dieſe Tabelle iſt ein Auszug aus der noch weit mehr Orte enthaltenden Mahlmann'ſchen Tabelle, welche dem dritten Theile von Humboldt's Asie centrale angehängt iſt.

Mittlere Temperatur von 123 Orten, nach Mahlmann.

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungsjahre.
Insel Melville . . .	74° 47′ N	113° 8′ W	—	— 18,7	— 33,3	— 19,5	2,8	— 18,0	— 35,8 Febr.	5,8 Juli.	1
Ustjansk	70 55 —	136 4 O	—	— 16,6	— 38,4	— 14,7	9,2	— 23,9	— 40.3 Jan.	13,7 —	1—3
Boothia-Felix . . .	70 2 —	94 10 W	—	— 15,7	— 33,2	— 20,7	3,4	— 12,4	— 35,6 Febr.	5,1 —	2—3
Jakuzk	62 1 —	126 47 O	117	9,7	— 38,9	— 8,3	17,2	— 6,6	— 40,5 —	20,3 —	. . .
Nain (Labrador) . .	57 10 —	64 10 W	—	— 3,6	— 18,5	— 5,8	7,6	— 2,2	— 20.9 —	9,3 Aug.	3
Gnontekis	68 40 —	20 0 O	435	— 2,7	— 17,0	— 3,9	12,6	— 2,7	— 17,8 Jan.	14,5 Juli.	4
Casino auf dem Aetna	37 6 —	12 41 —	2990	— 1,3	— 8,6	— 2,7	6,6	— 0,6	— 17,8 —	14,5 —	4
St. Bernhard	45 50 —	4 45 —	4843	— 1,0	— 7,8	— 2,0	6,1	— 0,4	— 8,7 —	6,8 —	21
Slatoust	55 8 —	57 8 —	322	— 0,7	— 16,6	0,8	15,2	0,2	— 18,0 Febr.	15,8 —	4
Irkuzk	52 16 —	101 58 —	409	— 0,2	— 17,6	4,5	15,9	— 2,2	— 19,5 Jan.	17,5 —	10
Nord-Cap	71 10 —	23 30 —	—	0,1	— 4,6	— 1,3	6,4	— 0,1	— 5.5 —	8,1 —	1
Kasan	55 48 —	46 47 —	58	2,2	— 14,3	2,6	17,0	2,8	— 16,5 —	18,4 —	12
Petersburg	59 56 —	27 59 —	—	3,5	— 8,4	1,7	15,7	4,7	— 10,3 —	16,9 —	25
Moskau	55 45 —	35 18 —	146	3,6	— 10,3	6,3	16,8	1,6	— 10,6 —	17,6 —	25
Reikiavig	64 8 —	24 16 W	—	4,0	— 1,6	2,4	12,0	3.3	— 2,1 Febr.	13,5 —	14
Falun	60 39 —	13 25 O	121	4,4	— 5,5	3,2	14,6	5,3	— 7,4 Jan.	15,8 —	9
Upsala	59 52 —	15 18 —	—	5,2	— 3,7	3,4	15,1	6,2	— 4,9 —	16,3 —	27
				5,3	. . . .	. . . .	. . .	. . .	— 5,0 —	16,8 —	83
Christiania	59 54 —	8 25 —	—	5,4	— 3,8	4,0	15,3	5,8	— 4,8 —	16,5 —	10
Pompey (Nordam.) .	42 56 —	78 25 W	390	6,1	— 5,3	5,3	17,7	6,8	— 6,2 —	19,0 —	14
Königsberg	54 43 —	18 10 O	—	6,2	— 3,3	5,3	15,9	6,7	— 4,2 —	17,0 —	24
Halifax	44 39 —	65 57 W	—	6,2	— 4,4	2,9	17,2	9,0	— 5,2 —	19,2 —	2—9
Wilna	54 41 —	22 58 O	117	6,3	— 4,6	5,7	17,6	6,5	— 5,9 —	18,5 —	6
Montreal	45 31 —	75 55 W	. . .	6,5	— 8,1	6,8	20,6	8,4	— 9,7 —	21,7 —	13

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats	Zahl der Beobachtungsjahre.
Leadhills	55°25′ N	6° 8′ W	390	6,6	0,2	6,4	13,1	6,5	— 0,2 Jan.	14,0 Juli.	10
Fort Snelling	44 53 —	95 28 —	240	6,6	— 9,8	8,2	21,3	7,2	— 11,9 —	22,4 —	5
Tilsit	55 4 —	19 33 O	...	6,7	— 3,6	5,9	16,7	7,3	— 5,4 —	17,5 —	20
Neu-Archangelsk	57 3 —	137 38 W	...	6,9	0,7	5,2	12,7	8,6	— 0,2 Febr.	13,5 Aug.	3—5
Lund	55 42 —	10 51 O	—	7,2	— 1,4	5,4	16,7	8,3	— 1,9 Jan.	17,4 Juli.	54
Freiberg	50 55 —	11 0 —	403	7,2	— 1,7	7,2	15,9	7,5	— 3,2 —	16,4 —	9
Gotha	50 57 —	8 23 —	308	7,3	— 1,3	7,3	15,5	7,6	— 3,2 —	16,8 —	8
Tabor	49 24 —	12 19 —	429	7,3	— 2,7	7,3	16,9	7,7	— 4,6 —	18,0 —	15
Dunfermline	56 5 —	5 46 W	...	7,4	2,6	6,1	12,9	7,8	— 2,1 —	13,8 —	20
Warschau	52 13 —	18 42 O	121	7,5	— 2,5	7,0	17,5	8,0	— 4,0 —	18,2 —	26
Danzig	54 21 —	16 18 —	...	7,6	— 1,2	6,7	16,4	8,4	— 2,6 —	17,5 —	26
Bern	46 57 —	5 6 —	585	7,8	— 0,9	7,7	15,8	8,5	— 2,8 —	16,6 Aug.	20
Augsburg	48 22 —	8 34 —	493	7,9	— 0,7	8,3	16,6	8,2	— 3,8 —	17,5 Juli.	22
Breslau	51 6 —	14 42 —	140	8,1	— 1,0	7,2	17,3	8,1	— 1,5 —	19,1 —	18
Copenhagen	55 41 —	10 14 —	—	8,2	— 0,4	6,5	17,2	9,3	— 1,4 —	18,2 —	52
Apenrade	55 3 —	7 5 —	—	8,3	0,6	6,9	16,2	9,0	— 0,4 —	16,9 —	16
Fulda	50 34 —	7 24 —	273	8,3	— 2,6	8,1	18,7	8,9	— 3,5 —	19,6 Aug.	11
Kremsmünster	48 3 —	11 48 —	361	8,3	— 1,9	....	17,6	...	.....	.....	11
Dresden	51 3 —	11 24 —	121	8,5	— 0,4	8,4	17,2	8,4	— 2,0 —	18,0 Juli.	10
St. Gallen	47 26 —	7 2 —	...	(8,5)	0,0	7,7	(17,2)	8,9	— 1,7 —	(19,8) —	10
Edinburg	55 57 —	5 32 W	88	8,6	3,6	7,6	14,4	8,9	2,9 —	15,0 —	17
Hamburg	53 33 —	7 38 O	—	8,6	0,3	8,0	17,0	8,8	— 1,3 —	17,5 —	19
Berlin	52 31 —	11 3 —	39	8,6	— 0,8	8,0	17,3	8,8	— 2,4 —	18,0 —	25
				8,6	— 0,7	8,4	17,6	9,1	— 3,1 —	18,3 —	22
Tübingen	48 31 —	6 43 —	331	8,6	— 0,2	8,6	17,1	8,9	— 2,2 —	17,8 —	13
Manchester	53 29 —	4 35 W	47	8,7	2,8	7,9	14,8	9,2	— 2,1 —	15,2 —	25

Halle	51	31	—	9	37	O	111	8,8		0,0	8,6	17,5	9,1	—	2,3	—	19,2	—	5—10
München	48	9	—	9	14	—	526	8,9	—	0,4	9,0	17,4	9,1	—	1,5	—	18,0	—	32
Salem	42	31	—	73	14	W	—	8,9	—	2,6	7,2	20,6	10,5	—	3,8	—	21,0	—	45
Inſpruck	47	16	—	9	4	O	526	9,0	—	1,9	10,0	18,3	9,6	—	3,8	—	18,4	—	51
Göttingen	51	32	—	7	36	—	132	9,		0,6	. . .	7,6	. . .	.	. . . . .		. . . . .		%
Albany	42	39	—	76	5	W	39	9,2	—	3,0	8,7	20,9	9,7	—	3,9	Febr.	22,2	—	17
Boſton	42	21	—	73	24	—	. . .	9,3	—	1,6	7,7	20,5	10,4	—	3,3	Jan.	21,8	—	10
Dublin	53	23	—	8	41	—	—	9,5		4,6	8,4	5,3	9,8		4,3	Jan.	16,0	Juli.	13
Münſter	51	58	—	5	18	O	63	9,5		2,2	8,7	16,8	0,		0,7	—	17,4	—	10
Prag	50	5	—	12	6	—	191	9,5	—	0,4	9,6	18,9	9,8	—	2,4	—	20,2	—	15
Leyden	52	10	—	2	9	—	—	9,7		2,4	8,4	7,2	10,5		1,2	—	17,9	—	19
Genf	46	12	—	3	49	—	396	9,7		1,2	9,5	17,9	10,2	—	0,4	—	18,6	—	40
Council-Bluffs	41	25	—	98	3	W	244	9,7	—	5,2	10,6	23,2	10,3	—	6,9	—	23,9	—	5
Frankfurt a. M.	50	7	—	6	21	O	117	9,8		1,2	9,9	18,3	10,0	—	0,4	—	18,9	—	30
Straßburg	48	35	—	5	25	—	146	9,8		1,1	10,0	18,1	10,0	—	0,4	—	18,8	—	32
Haarlem	52	23	—	2	18	—	—	10,0		2,8	9,2	17,0	,0		1,0	—	17,7	—	18
Trier	49	46	—	4	18	—	156	10,0		1,9	10,0	17,8	10,1		0,0	—	18,7	—	11
Würzburg	49	48	—	7	36	—	172	0,		1,6	10,2	18,7	9,7	—	0,9	—	19,6	—	27
Wien	48	13	—	14	3	—	156	0,		0,2	10,5	20,3	10,5	—	1,6	—	20,7	—	24—14
Brüſſel	50	51	—	2	2	—	58	0,2		2,5	0,1	18,2	10,2		1,2	—	18,8	—	36
Mannheim	49	29	—	6	8	—	92	0,3		1,5	10,4	19,5	9,8		0,9	—	20,2	—	12
London	51	31	—	2	26	W	—	10,4		4,2	9,5	17,1	10,7		3,0	—	17,8	—	40
Paris	48	50	—	0	0	—	64	10,8		3,3	0,3	18,1	11,2		1,8	—	18,9	—	33
Plymouth	50	22	—	6	28	—	—	11,1		6,9	0,1	16,0	11,7		5,9	—	16,6	—	11
Hobarttown	42	45	—	145	15	—	—	11,3		5,6	1,6	17,3	10,9		4,5	—	17,3	—	1
Sebaſtopol (Krimm)	44	36	—	31	12	O	49	11,5		1,8	0,2	21,7	12,6		0,6	—	22,4	—	15
La Rochelle	46	9	—	3	28	W	—	11,6		4,2	0,6	19,4	11,5		2,9	Dec.	20,2	—	11
Baltimore	39	17	—	78	58	—	. . .	11,6		0,4	0,4	23,1	12,9	—	0,6	Jan.	24,0	—	8
Padua	45	24	—	9	32	O	—	12,5		2,8	12,1	21,9	13,0		1,8	—	22,9	—	37
Peking	39	54	—	114	9	—	97	. . .	—	1,0	14,8	. . .	. . .	—	2,3	—	. . . . .		1
								12,7?	—	3,2?	13,5	28,1?	12,4	—	4,1?	—	29,1	Juni.	6
Venedig	45	26	—	10	0	—	—	13,7		3,3	12,6	22,8	13,3		1,8	—	23,9	Juli.	19—7
Conſtantinopel	41	0	—	26	39	—	. . .	13,7		4,8	11,0	23,0	15,8		. . . . .		. . . . .		1—3

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungsjahre.
Bordeaux	44° 50′ N	2° 55′ W	—	13,9	6,1	13,4	21,7	14,4	5,0 Jan.	22,9 Juli.	10
Mafra	38 56 —	11 41 —	228	13,9	9,6	12,7	18,2	15,1	9,2 —	19,7 —	4
Marseille	43 18 —	3 2 O	45	14,1	6,9	12,9	21,4	14,7	5,2 —	22,8 —	16—10
Madrid	40 25 —	6 2 W	663	14,2	5,6	14,2	23,4	13,7	. . . . .	. . .	2—3
Avignon	43 57 —	2 28 O	—	14,4	5,8	13,9	23,1	14,6	4,8 —	23,8 Aug.	25
Santa-Fe-de-Bogota	4 36 —	76 34 W	2631	15,0	15,1	15,3	15,3	14,5	14,0 Juli.	16,1 —	1—2
Florenz	43 47 —	8 55 O	64	15,3	6,8	14,7	24,0	15,7	5,3 Jan.	25,2 Juli.	12
Rom	41 54 —	10 8 —	53	15,4	8,1	14,1	22,9	16,5	7,2 —	23,9 —	30
Quito	0 14 S	81 5 W	2914	15,6	15,4	15,7	15,6	17,5	14,8 Juli.	16,3 März.	2—3
Neapel	40 51 N	11 55 O	55	16,7 16,4	9,9 9,8	15,6 15,2	23,9 23,6	17,3 16,8	9,0 Jan. 9,2 —	25,0 Aug. 24,5 —	8 18
Lissabon	38 42 —	11 29 W	72	16,4	11,3	15,5	21,7	17,0	11,2 —	22,3 Juli.	5
Merico	19 26 —	101 26 —	2271	16,6	13,0	18,1	19,1	16,2	12,3 —	19,7 Jun.	2
Buenos-Ayres	34 37 —	60 44 —	—	16,9	11,4	15,2	22,8	18,1	11,0 —	23,8 Aug.	1—4
Palermo	38 7 —	11 1 O	55	17,2	11,4	15,0	23,5	19,0	10,7 Febr.	24,6 —	39
Algier	36 47 —	0 43 W	—	17,8	12,4	17,2	23,6	21,4	(14,5) März.	24,7 —	4
Gibraltar	36 7 —	7 41 —	. . .	17,9	13,8	17,3	22,7	17,8	13,7 Febr.	23,5 Juli.	2
Canea	35 29 —	21 40 O	. . .	18,0	12,4	15,6	25,2	18,9	11,9 Jan.	27,5 Aug.	1—2
Smyrna	38 26 —	24 48 —	. . .	18,2	11,1	14,6	26,0	21,1	. . . . .	. . . . .	1
Funchal	32 38 —	19 15 W	—	18,7	16,3	17,5	21,1	19,8	15,7 —	23,3 —	6
Cap der guten Hoffnung	33 55 S	16 8 O	—	19,1	14,8	18,6	23,4	19,4	14,3 Aug.	24,1 Jan.	7—11
Montevideo	34 54 —	58 33 W	. . .	19,3	14,1	18,1	25,2	20,0	13,3 Juli.	26,7 Dec.	1
Tunis	36 48 N	7 51 O	—	20,3	13,2	18,3	28,3	21,9	11,7 Jan.	30,3 Aug.	3—4
Canton	23 8 —	110 56 —	—	21,0 21,6	12,7 13,7	21,0 21,8	27,8 28,2	22,7 22,5	11,4 — 13,3 —	28,3 Juli. 28,5 Juni.	10 3

Las-Palmas (Canarische Inseln)	28	0	—	17	51	W	—	21,8	18,0	19,4	23,8	26,2	17,8	—	29,2	Oct.	12
Caraccas	10	31	—	69	25	—	887	22,0	20,9	21,8	23,4	22,2	20,0	Febr.	24,0	Juli.	1—2
Macao	22	11	—	111	14	O	—	22,5	16,4	21,.	28,3	24,1	14,5	—	28,6	—	2—5
Candy	7	18	—	78	30	—	513	22,7	22,3	23,5	22,8	22,4	21,8	Jan.	24,2	Mai.	5—6
Rio-Janeiro	22	55	S	45	36	W	. . .	23,1	20,3	22,5	26,1	23,6	19,6	Juli.	26,7	Jan	7—9
St. Louis (Senegal)	16	1	N	18	53	—	—	24,6	21,1	21,4	27,6	28,2	19,9	Febr.	30,8	Sept.	1
Delta des Indus	24	44	—	65	57	O	. . .	. . .	7,8	. . .	. . .	. . .	17,2	Febr.	. . .	. . .	1
Havanna	23	9	—	84	43	W	—	25,0	22,6	24,6	27,4	25,6	21,9	Jan.	27,5	Aug.	8
Vera-Cruz	9	12	—	98	29	—	—	25,0	21,5	25,0	27,5	26,0	21,2	—	27,8	Mai.	13
Seringapatam	12	45	—	74	21	O	735	25,	22,9	28,5	24,5	24,4	21,6	—	29,4	—	2
Benares	25	19	—	80	35	—	97	25,4	16,3	30,0	29,6	24,1	15,2	Dec.	33,4	—	4
Calcutta	22	35	—	86	0	—	—	28,5	9,9	28,1	28,5	26,1	18,4	Jan.	29,9	—	17—8
Bombay	18	56	—	70	34	—	—	26,0	23,2	27,2	28,1	27,3	22,4	—	29,3	—	2
Jamaika	17	50	—	79	2	W	. . .	26,1	24,6	25,7	27,4	26,6	24,4	—	27,7	Juli.	5
Paramaribo	5	45	—	57	33	—	. . .	26,5	25,9	26,3	26,9	28,2	25,6	Febr.	28,6	Sept.	1—3
Singapore	1	17	—	101	30	O	. . .	26,5	25,9	26,9	27,1	26,7	25,6	Jan.	27,4	Juni.	6
Batavia	6	9	S	104	33		—	26,8	26,2	26,8	27,2	27,1	25,9	Juni.	27,8	Jan.	1
Cumana	10	28	—	66	30	W	—	27,4	27,0	28,6	28,1	. . .	26,9	Jan.	29,2	Mai.	1
Küste von Guinea	5	30	—	2	0	—	—	27,4	28,1	28,3	26,4	27,0	25,6	Febr.	28,8	Febr.	1—2
Madras	13	5	—	77	57	O	—	27,8	24,8	28,6	30,2	27,5	24,1	Jan.	31,3	Juni.	25
Kouka	13	10	—	12	10	—	351	28,2	23,8	32,6	29,0	27,2	20,6	Dec.	33,7	Apr.	1—2
Massowa (Abyssinien)	15	36	—	37	9	—	—	(31,0)	26,7	29,5	. . .	32,0	25,5	Jan.	(33,8)	Spt.	1

184 **Iſothermiſche Linien.** Eine Tabelle wie die, welche auf Seite 501 bis 505 ſteht, enthält eine Maſſe von Elementen, aus welchen man die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche ableiten kann. Jedenfalls ſieht man aus einer ſolchen Tabelle ſchon, daß nicht alle auf demſelben Breitengrade liegenden Orte gleiche mittlere Temperatur haben. So iſt z. B. die mittlere Jahreswärme am Nordcap + 0,1°, während Nain auf der Küſte Labrador eine mittlere Jahreswärme von — 3,6° hat, obgleich Labrador 14° ſüdlicher liegt als das Nordcap. Eine klare Ueberſicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerſt Humboldt durch ſeine iſothermiſchen Linien möglich gemacht, durch welche er alle ſolche Orte derſelben Hemiſphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Iſothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erſchien im Jahre 1817 im 3. Bande der Mémoires de la societé d'Arcueil.

Denken wir uns z. B., daß ein Reiſender, von Paris ausgehend, eine Reiſe um die Erde in der Weiſe macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel beſucht, welche dieſelbe mittlere Jahreswärme haben, wie Paris, nämlich 10,8°, ſo wird der Weg, den er auf dieſe Weiſe zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, alſo eine iſotherme Linie ſeyn; dieſe Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zuſammen, ſie iſt unregelmäßig und gekrümmt, d. h. ſie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle von 60 Orten, für welche die mittlere Temperatur durch wenigſtens 8000 Beobachtungen ermittelt worden war, und nach dieſen legte er ſeine Iſothermen. Seit den letzten 20 Jahren ſind nun durch zahlreiche Beobachtungen die klimatiſchen Verhältniſſe vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Iſothermen, wie ſie Humboldt damals beſtimmt hatte, weſentlich verändert worden wäre.

Fig. 415 ſtellt die Erdoberfläche in Merkators-Proportion mit den Iſothermen von 5 zu 5 Grad dar. Am Erdäquator iſt die mittlere Temperatur der Meeresufer 27,5°; auf der Weſtſeite von Amerika und Afrika jedoch etwas geringer; im Inneren der beiden Continente, beſonders in Afrika iſt die mittlere Temperatur höher als an den Küſten, im Inneren von Afrika ſteigt die mittlere Temperatur des Aequators über 29°.

Der Wärmeäquator, d. h. die Linie, welche man erhält, wenn man die heißeſten Punkte der verſchiedenen Meridiane mit einander verbindet, fällt nicht mit dem Erdäquator zuſammen; die Gegenden, welche gerade unter dem Aequator liegen, ſind alſo nicht immer die heißeſten. Obgleich es gewiß zu ſeyn ſcheint, daß der Wärmeäquator größtentheils auf der

Fig. 415.

nördlichen Halbkugel liegt, so fehlt es doch noch an zuverlässigen Beobachtungen, um seinen Lauf näher zu bezeichnen.

Die nördliche Isotherme von 25° geht durch Veracruz, berührt die Südspitze von Florida, steigt dann noch etwas nach Norden, um sich nach der Westküste von Afrika zu senken; dann steigt sie wieder nach Norden, geht durch den nördlichen Theil des rothen Meeres und durch den persischen Meerbusen hindurch u. s. w.

Die Anschauung der Karte Fig. 415 erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Inneren von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Inneren von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Brewster hat es sehr wahrscheinlich gemacht, daß der Nordpol nicht der kälteste Ort der nördlichen Hemisphäre ist, sondern daß die Isothermen in der Nähe des Pols zwei getrennte geschlossene Kurven bilden, deren Mittelpunkte er Kältepunkte nennt. In der That deutet auch der Lauf der Isothermen von — 15° darauf hin; in einer nach der Polarproportion gezeichneten Karte würde die Lage der Kältepole noch deutlicher vortreten. Der eine Kältepol liegt über dem asiatischen, der andere über dem nordamerikanischen Continente; daher denn auch die Senkung der Isothermen in Nordamerika und Sibirien.

Mit der Entfernung vom Aequator nach dem Nordpole hin ist die Wärmeabnahme durchaus nicht der zunehmenden geographischen Breite proportional, wie man leicht aus folgender Zusammenstellung ersieht.

Zunahme der nördlichen Breite	Entsprechende Temperaturabnahme in der alten Welt	in der neuen Welt
0 bis 20°	2°	2°
20 » 30	4	6
30 » 40	4	7
40 » 50	7	9
50 » 60	5,5	7,4
von 0 bis 60°	22,5°	31,4°

»In beiden Welten,« sagt Humboldt, »liegt die Zone, in welcher die

mittlere Tempeartur am schnellsten abnimmt, zwischen den Parallelen von 40° und 45°. Dieser Umstand muß einen günstigen Einfluß auf die Bildung und den Kunstfleiß der Völker haben, welche in der Nähe dieses Gürtels wohnen. Es ist dies der Punkt, wo die Regionen des Weinstocks an die des Oliven- und Citronenbaums gränzen. Nirgends anders auf der Erde findet man von Süden nach Norden eine merklichere Abnahme der Temperaturen, nirgends folgen die Erzeugnisse des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenstände des Ackerbaues schneller auf einander. Die große Verschiedenheit in den Erzeugnissen der Gränzländer belebt den Handel und vermehrt den Gewerbfleiß der ackerbauenden Völker.«

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer seyn, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Die Nachrichten verschiedener Reisenden über dieselben Gegenden widersprechen sich oft geradezu, ein Beweis, wie sehr man sich hüten muß, aus vereinzelten Beobachtungen und Angaben einen Schluß auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu machen. Cook konnte auf seiner zweiten Reise kaum den südlichen Polarkreis passiren, während später Weddel das Meer bis zum 74° frei fand. Dumont-Durville wurde bei seinen zweimaligen Versuchen, gegen den Südpol vorzudringen, am Polarkreise aufgehalten, James Roß hingegen fand bis 78° s. B. schiffbares Meer. Nach Forster sind die Berge an den Küsten von Neugeorgien (ungefähr 28° östlich vom Feuerlande) bis an das Meer mit Schnee bedeckt, nur an wenigen der Sonne ausgesetzten Stellen war der Boden frei, während Weddel, welcher die Insel später besuchte, Gras von 6 Decimeter Höhe fand. Ebenso weichen die Schilderungen des Feuerlandes ab; Bank fand hier Birken (betula antarctica) von 9 bis 10 Meter Höhe und 6 bis 9 Decimeter Umfang. Bei Port Famine (mittlere Temp. 5°) sind die Küsten der Magellanstraße mit herrlichen Wäldern von fagus antarctica bedeckt, die von Papageien bewohnt sind. Ein Beweis, daß die Winter in diesen Gegenden nicht sehr kalt seyn können, ist, daß die Eingebornen ganz nackt gehen.

Das Klima der südlichen Spitze von Amerika ist ein solches, welches wir alsbald unter dem Namen des Seeklimas werden kennen lernen, d. h. der Sommer bleibt kühl, der Winter wird aber auch nicht streng; es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit das nach Süden schmal zulaufende Südamerika in die ungeheure Wassermasse hineinragt.

Die Isothermen nähern sich an den Westküsten von Südamerika dem Aequator weit mehr als auf den Ostküsten, die Westküsten sind also verhältnißmäßig kälter; dies rührt von einer kalten Meeresströmung her, welche an den Westküsten von Südamerika her nach Norden zieht.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Sonnenstrahlen reflectirt.

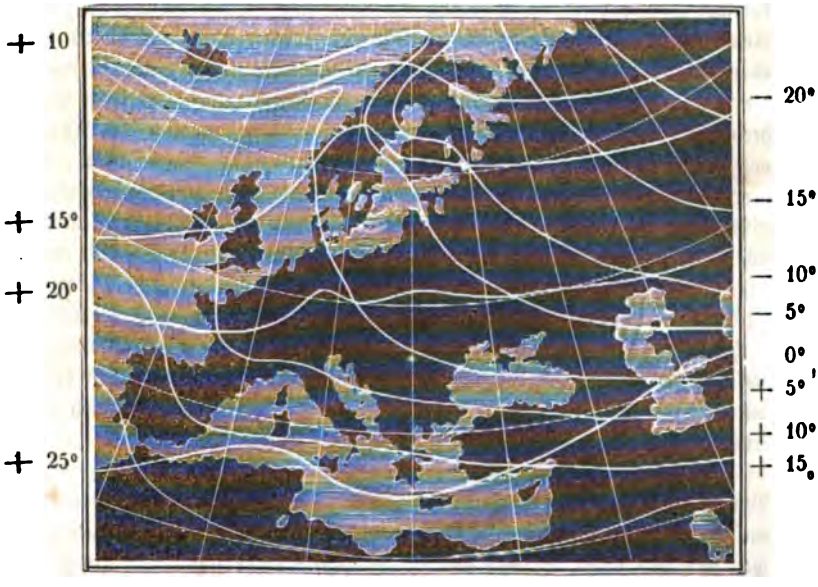
Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 501 bis 505 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. So haben z. B. Edinburg und Tübingen gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1, für Edinburg nur 14,2°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. Ein ähnliches Verhältniß findet zwischen Prag und Dublin Statt; beide Orte haben eine gleiche mittlere Jahrestemperatur von 9,5°. Für Dublin ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 4,3, für Prag ist sie —2,46°; dagegen ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats für Dublin nur 16, für Prag aber 20,2°.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Som-

mer- und Wintertemperatur am geringſten ſind; dieſelben Urſachen alſo, welche machen, daß die Iſothermen an den Weſtküſten von Europa und Amerika ſo hoch nach Norden ſteigen, machen auch die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine ſehr gute Ueberſicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwiſchen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Kurven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Iſochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Iſotheren. Fig. 416 ſtellt ein Kärtchen von Europa mit den Iſotheren und den Iſochimenen von 5 zu 5 Grad dar.

Diejenigen Kurven, deren entſprechenden Temperaturen an der rechten Seite der Karte ſtehen, ſind die Iſochimenen, die anderen ſind die Iſotheren. Man überſieht aus dieſer Karte leicht, daß die Weſtküſte des ſüdlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen

Fig. 416.



und Ungarn, Siebenbürgen, Beſſarabien und die Südſpitze der Halbinſel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausfluſſe der Garonne, und in der Krim iſt der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Winter-

Das Klima der südlichen Spitze von Amerika ist ein solches, welches wir alsbald unter dem Namen des Seeklimas werden kennen lernen, d. h. der Sommer bleibt kühl, der Winter wird aber auch nicht streng; es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit das nach Süden schmal zulaufende Südamerika in die ungeheure Wassermasse hineinragt.

Die Isothermen nähern sich an den Westküsten von Südamerika dem Aequator weit mehr als auf den Ostküsten, die Westküsten sind also verhältnißmäßig kälter; dies rührt von einer kalten Meeresströmung her, welche an den Westküsten von Südamerika her nach Norden zieht.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Sonnenstrahlrn reflectirt.

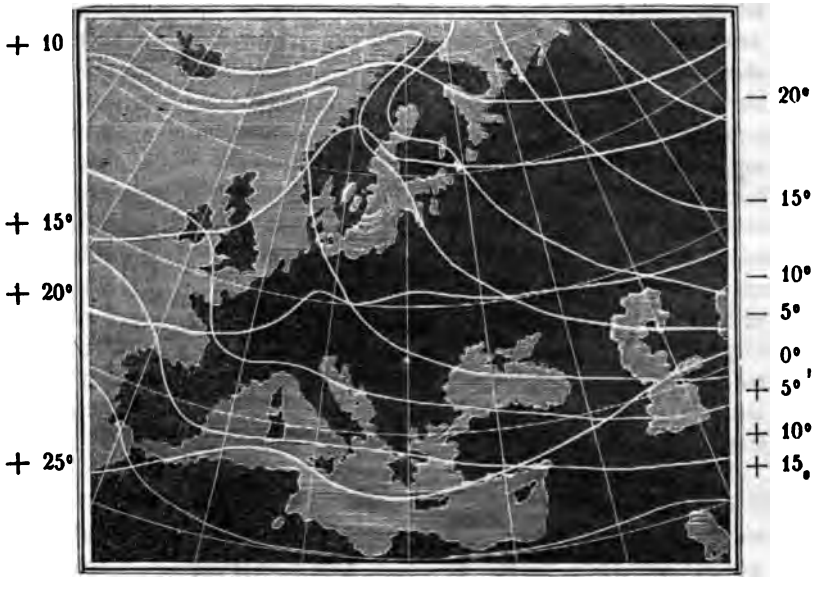
Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 501 bis 505 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. So haben z. B. Edinburg und Tübingen gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1, für Edinburg nur 14,2°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. Ein ähnliches Verhältniß findet zwischen Prag und Dublin Statt; beide Orte haben eine gleiche mittlere Jahrestemperatur von 9,5°. Für Dublin ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 4,3, für Prag ist sie —2,46°; dagegen ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats für Dublin nur 16, für Prag aber 20,2°.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Som-

mer- und Wintertemperatur am geringſten ſind; dieſelben Urſachen alſo, welche machen, daß die Iſothermen an den Weſtküſten von Europa und Amerika ſo hoch nach Norden ſteigen, machen auch die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine ſehr gute Ueberſicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwiſchen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Kurven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Iſochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Iſotheren. Fig. 416 ſtellt ein Kärtchen von Europa mit den Iſotheren und den Iſochimenen von 5 zu 5 Grad dar.

Diejenigen Kurven, deren entſprechenden Temperaturen an der rechten Seite der Karte ſtehen, ſind die Iſochimenen, die anderen ſind die Iſotheren. Man überſieht aus dieſer Karte leicht, daß die Weſtküſte des ſüdlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen

Fig. 416.



und Ungarn, Siebenbürgen, Beſſarabien und die Südſpitze der Halbinſel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausfluſſe der Garonne, und in der Krim iſt der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Winter-

temperatur, nämlich 5°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 20° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 5°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 5° und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 10°.

187 **Ursachen der Inflexion der Isothermen.** Obgleich wir im Stande sind, im Allgemeinen die Ursachen anzugeben, welche die Abweichung der Isothermen an den Parallelkreisen bedingen, so kennen wir doch die hier mitwirkenden störenden Elemente viel zu wenig, um die Gestalt der Isothermen aus theoretischen Betrachtungen abzuleiten.

Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt größtentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt, die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die physische Geographie,« sagt Humboldt, »hat ihre numerischen Elemente, wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniß dieser Elemente in dem Maaße fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

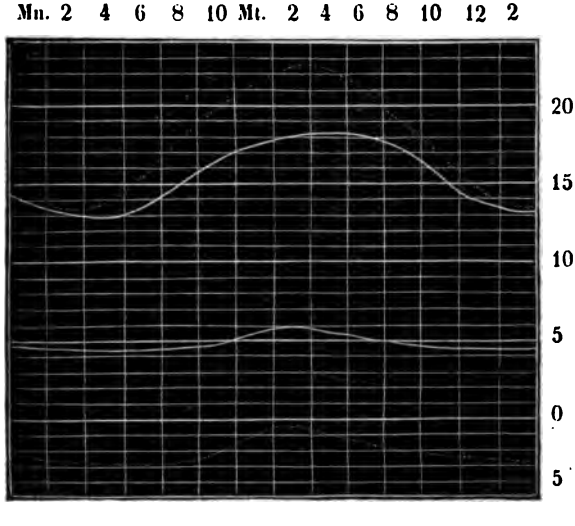
Ganz abgesehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind

ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und See-klima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Ländern der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem großen Meere liegen, die Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so größer sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in der vorigen Nummer wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche sich eines Küsten-klimas erfreuen, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

Die Fig. 417 zeigt nicht allein, wie die täglichen Variationen des Ther-

Fig. 417.



mometers für Leith (Seeklima) geringer sind als für Halle (Continental-klima), sondern auch, daß die Temperaturen des heißesten und kältesten Monats für Leith näher beisammenliegen als für Halle.

Noch weit größere Unterschiede zwischen Land- und Seeklima ergeben sich, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mitt-

leren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht überſehen zu können, iſt in den folgenden der Tabelle Seite 501 entnommenen Beiſpielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Sommertemperatur über, die mittlere Wintertemperatur unter einen Horizontalſtrich geſetzt.

Küſtenklima:		Continentalklima:	
Nordcap . . . 0,1	$\frac{6,4}{-4,6}$	Jakuzk . . . — 9,7	$\frac{17,2}{-38,9}$
Reikiavig . . 4,0	$\frac{12,0}{-1,6}$	Irkuzk . . . — 0,2	$\frac{15,9}{-17,6}$
		Moskau . . 3,6	$\frac{16,8}{-10,3}$

Das Klima der Weſtküſten von Europa iſt ein beſtändiges, das Klima des öſtlichen Europa's und des nördlichen Aſiens dagegen iſt ein exceſſives, wie es Buffon nennt.

Welchen Einfluß ſolche klimatiſchen Verſchiedenheiten auf die Vegetation ausüben müſſen, iſt klar. An mehreren Orten Sibirens, in Jakuzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 9,7° iſt, die mittlere Wintertemperatur aber — 38,9° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beſtändig gefroren bleibt, während auf der Inſel Island, bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken iſt, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, ſie zur Reife zu bringen.

Im nordöſtlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe ſo kräftig wie in Portugal, auf den Küſten von Devonſhire überwintert die Camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter iſt in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich ſtarke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern ſollen. In Aſtrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichſten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich ſeine Winter kälter ſind als im nördlichſten Schottlande, wo kein Obſtbaum mehr gedeiht, ja ſelbſt kälter als auf den Faroerinſeln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° iſt, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, deſſen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirſiſchbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn ſie 8,2° erreicht. Die Birke ſchlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in

Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni Statt; auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißesten Monats nur 8,1° beträgt.

Der mildernde Einfluß des Meeres wird auf ein Land verhältnißmäßig zu seiner Oberfläche um so bedeutender seyn, je größer der meerumspülte Umfang desselben ist. Je zerrissener die Küsten eines Landes sind, d. h. je mehr Halbinseln in das Meer, und je tiefer bedeutende Meerbusen in das Land hineinragen, desto gleichmäßiger wird sein Klima seyn. Europa verdankt seine vortheilhaften klimatischen Verhältnisse großentheil seiner eigenthümlichen Configuration.

Der eben besprochene Einfluß des Meeres ist mehr localer Natur, er bewirkt eine gleichmäßigere Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten, er trägt aber weniger zur Erhöhung oder Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur bei. Die Krümmung der Isothermen ist nicht eine directe, sondern eine secundäre Wirkung der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land, insofern dadurch die Luft- und Meeresströmungen modificirt werden.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühendheißen Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 31° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zu-

nehmender Breite und abnehmender Temperatur öſtlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfſtrom ſelbſt nicht bis an die Küſten von Europa reicht, ſo verbreitet ſich doch ſein warmes Waſſer, namentlich unter dem Einfluſſe der vorherrſchenden Südweſtwinde, in den europäiſchen Gewäſſern, was ſchon daraus hervorgeht, daß man an den weſtlichen Küſten von Irland und an den Küſten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerika's wachſen; die Weſt- und Südweſtwinde bleiben alſo lange mit einem Meerwaſſer in Berührung, deſſen Temperatur zwiſchen dem 45. und 50. Breitengrade ſelbſt im Januar nicht unter 10,7 bis 9° ſinkt. Durch den Einfluß dieſes Golfſtroms iſt das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polarkreiſes getrennt; ſelbſt in der kälteſten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareiſes nicht die europäiſchen Küſten, ſo daß man mitten im Winter vom Nordcap bis zur Südſpitze von Spitzbergen fahren kann. Sabine fand zwiſchen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantiſchen Oceans an der Oberfläche 5,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäiſchen Continents ſchon unter dem Gefrierpunkte iſt.

Während ſo alle Umſtände zuſammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Aſien mehrere Urſachen zuſammen, um die Iſothermen bedeutend herabzuſenken. Im Süden von Aſien liegen zwiſchen den Wendekreiſen keine bedeutenden Ländermaſſen, nur einige aſiatiſche Halbinſeln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt ſich nicht ſo ſtark wie die afrikaniſchen Wüſten, theils weil das Waſſer die Wärmeſtrahlen ungleich weniger abſorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Waſſer auf der Oberfläche des Meeres ſehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftſtröme, welche, aus den Becken des indiſchen Oceans aufſteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Aſien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Aſien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig ſich verflachende Land den Nord- und den Nordoſtwinden preisgegeben iſt. Während ſich Europa nicht weit nach Norden erſtreckt, ragt Aſien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüſſen entzogen, durch welche die Temperatur der europäiſchen Meere erhöht werden, faſt immer mit Eis bedeckt iſt. Ueberall reichen die Nordküſten von Aſien bis an die Wintergränze des Polareiſes, und die Sommergränze dieſes Eiſes entfernt ſich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küſten; daß aber dieſer Umſtand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, iſt klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung ſolcher Eismaſſen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Iſothermen im Inneren und an den Oſtküſten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südweſt-

winde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

Abweichungen vom normalen Gang der Wärme. Die Nor- 188
maltemperaturen des heißesten und des kältesten Monats geben uns durchaus noch nicht die Gränzen an, zwischen welchen an einem Orte das Thermometer schwanken kann, denn es sind ja selbst nur Mittelzahlen; dann aber schwankt ja auch, wie wir oben gesehen haben, die mittlere Temperatur eines und desselben Monats von einem Jahre zum anderen oft sehr bedeutend. So kommt es denn auch, daß selbst in Gegenden, die sich sonst eines warmen Klimas und eines milden Winters erfreuen, manchmal eine ganz außerordentliche Kälte eintritt; so war z. B. im Jahre 1507 der Hafen von Marseille in seiner ganzen Ausdehnung zugefroren, wozu wenigstens eine Kälte von — 18° erforderlich war; im Jahre 1658 zog Karl X. mit seinem ganzen Heere sammt dem schweren Geschütze über den kleinen Belt. Im Jahre 1709 war der Meerbusen von Venedig und die Häfen von Marseille, Genua und Cette zugefroren, und 1789 fiel das Thermometer zu Marseille auf — 27°. Die folgende Tabelle giebt die höchsten und niedrigsten Temperaturen an, welche an verschiedenen Orten beobachtet worden sind.

	Minimum.	Maximum.	Differenz.
Surinam	21,3°	32,3°	11,0°
Pondicheri	21,6	44,7	23,1
Esna (Aegypten)		47,4	
Cairo	9,1	40,2	31,1
Rom	— 5,9	38,0	43,9
Paris	— 23,1	38,4	61,5
Prag	— 27,5	35,4	62,9
Moskau	— 38,8	32,0	70,8
Fort Reliance (Nordamerika .	— 56,7.		

Der wirkliche Gang der mittleren Temperatur weicht bald mehr, bald weniger von dem normalen Gange ab. Dove hat zuerſt dieſe Abweichungen vom normalen Gange einer genaueren Unterſuchung unterworfen. Für eine große Anzahl von Orten hat er den wirklichen Gang der Wärme mit dem normalen Gange verglichen und Tabellen entworfen, in welchen man für eine Reihe von Orten angegeben findet, wie viel die mittleren Temperaturen der zwölf Monate in verſchiedenen Jahren über oder unter der Normaltemperatur lagen.

Als Beiſpiel iſt folgende kleine Tabelle aus den Tabellen des Dove'ſchen Werkes (Ueber die nicht periodiſchen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1840) ausgezogen:

1828.

	Marietta.	Concordia.	London.	Berlin.	Petersburg.	Kaſan.
Januar	4,25	1,29	1,71	0,50	— 0,77	— 0,92
Februar	3,68	3,86	0,56	— 0,72	— 3,29	— 4,70
März	2,06	0,68	0,70	0,53	— 0,41	0,44
April	— 1,94	— 1,35	0,06	0,80	0,33	1,58
Mai	0,14	— 0,07	0,24	— 0,13	1,69	1,88
Juni	1,39	2,00	0,44	— 0,13	0,86	1,40
Juli	— 0,86	1,20	— 0,07	0,43	1,47	— 0,14
Auguſt	0,66	0,39	— 0,31	— 0,63	0,95	0,77
September	— 0,41	1,45	0,96	0,33	— 0,26	— 1,02
October	— 0,52	— 0,91	— 0,48	— 0,10	0,15	0,39
November	0,95	0,22	0,55	0,37	— 0,57	— 1,84
December	1,56	2,58	2,09	1,49	— 2,20	— 4,21

Aus dieſer Tabelle erſehen wir z. B., daß zu Kaſan im Jahre 1828 die mittlere Temperatur des Monats Februar um 4,7° niedriger, die des Mai hingegen 1,88° höher war als die Normaltemperatur dieſer Monate. — Man erſieht ferner daraus, daß die mittlere Temperatur des Februar in Nordamerika (Marietta und Concordia) faſt um 4 Grad zu hoch war, daß ſie in London nur unbedeutend über, in Berlin unbedeutend unter der Normaltemperatur war, daß dagegen im öſtlichen Europa und Aſien eine ungewöhnliche Kälte herrſchte, denn in Petersburg war die Mitteltemperatur des Februar 3,29, in Kaſan war ſie 4,7° zu niedrig. Das weſtliche Europa hatte alſo nahe die Normaltemperatur, auf der einen Seite war es wärmer, auf der anderen war es kälter.

Solche Tabellen hat nun Dove für eine größere Anzahl von Orten und für eine größere Reihe von Jahren zusammengestellt. Durch solche Tabellen ist man allein im Stande, die Gesetze der nicht periodischen Temperaturschwankungen, den Abweichungen von der Normaltemperatur zu übersehen.

Wenn das Beobachtungsmaterial für Europa auch ziemlich vollständig ist, so ist es doch für Amerika und Asien noch gar mangelhaft, so daß manche wichtige Frage über den Zusammenhang der Abweichungen von der Normaltemperatur unentschieden bleiben muß.

Die mittleren Temperaturen der einzelnen Monate weichen bald mehr bald weniger von ihren Normaltemperaturen ab. Man erhält ziemlich nahe die Gränzen, zwischen welchen die mittlere Temperatur eines Monats an einem Orte schwankt, wenn man aus einer möglichst langen Reihe von Beobachtungsjahren die höchste und niedrigste mittlere Temperatur dieses Monates aufsucht. Die Differenz dieses höchsten und tiefsten Monatsmittels nennt Dove die absolute Veränderlichkeit des Monats.

So ist z. B. 14,18° die absolute Veränderlichkeit des Monats Januar für Berlin, d. h. für die ganze Reihe von Jahren, aus welchen Beobachtungen vorhanden sind, war die höchste mittlere Temperatur des Januar 14,18° höher als die niedrigste.

Die folgende Tabelle giebt die absolute Veränderlichkeit der zwölf Monate des Jahres, wie sie sich im Durchschnitt für die angeführten Gegenden ergiebt:

	Italien.	Alpen.	Deutschland.	Nordeuropa.	England.
Januar	5,47	8,89	9,44	10,51	5,88
Februar	5,38	7,09	7,83	10,29	4,86
März	5,32	6,66	5,97	8,17	4,44
April	4,67	6,45	4,74	6,96	3,97
Mai	4,88	5,26	5,45	5,99	3,88
Juni	5,17	5,06	3,95	5,76	3,98
Juli	3,68	4,99	4,71	5,54	3,51
August	4,45	5,36	5,01	5,82	3,63
September . . .	4,26	4,65	3,41	5,35	3,63
October	4,25	5,10	4,45	6,76	4,20
November	4,77	5,99	5,23	7,43	4,40
December	5,29	9,10	9,72	9,66	5,04
Jahr	2,21	2,59	2,57	2,64	2,28

Man sieht aus dieser Tabelle, daß in unseren gemäßigten Zonen die absolute Veränderlichkeit im Allgemeinen nach Norden hin zunimmt. Sie

iſt größer in den Alpen als in Italien, größer in Deutſchland als in den Alpen, größer in Nordeuropa als in Deutſchland.

In England iſt die Veränderlichkeit geringer als in Deutſchland, in Deutſchland aber iſt ſie größer als im nördlichen Aſien.

In den Wintermonaten iſt die Veränderlichkeit am größten; der beſtändigſte Monat iſt dagegen in unſerer gemäßigten Zone der September.

Bedeutendere Abweichungen von dem normalen jährlichen Gange der Wärme treten nicht local auf, ſondern ſie ſind über größere Strecken verbreitet; ſo war z. B. der Winter von 1821 auf 1822 in Europa ſehr gelind, im December 1822 aber herrſchte im ganzen weſtlichen Europa eine ſtrenge Kälte; niemals iſt jedoch eine gleichnamige bedeutende Abweichung über eine ganze Hemiſphäre verbreitet. In der Regel iſt die nördliche Halbkugel in der Richtung von Norden nach Süden in zwei Hälften getheilt, auf welchen entgegengeſetzte Abweichungen von der normalen Temperatur beobachtet werden; ungefähr in der Mitte dieſer beiden Hälften ſind die Abweichungen am größten, da, wo ſie aneinander ſtoßen, herrſcht eine mittlere Temperatur. So war der Februar 1828 in Kaſan und Irkuzk ſehr kalt, in Nordamerika ungewöhnlich gelind, Europa aber lag indifferent zwiſchen dieſen entgegengeſetzten Abweichungen. Im December 1829 fiel das Maximum der Kälte nach Berlin, in Kaſan war dieſe Kälte noch ſehr merklich; in Nordamerika aber herrſchte ein ungewöhnlich gelindes Wetter, dagegen war die Kälte des Decembers 1831 auf Amerika beſchränkt.

Meiſtens herrſchen in Europa und Aſien dieſelben, in Amerika aber die entgegengeſetzten Abweichungen vom mittleren Gange der Wärme.

Manchmal, jedoch ſeltener, läuft die Gränzlinie entgegengeſetzter Abweichungen von Oſten nach Weſten.

Eine Abweichung von der mittleren Temperatur dauert oft längere Zeit hindurch in demſelben Sinne fort. Vom Juni 1815 bis zum December 1816 herrſchte in Europa eine ungewöhnlich niedrige Temperatur, was auch die Mißernte von 1816 zur Folge hatte; das Jahr 1822 war bekanntlich ein ausgezeichnetes Weinjahr; die ungewöhnliche Wärme dauerte damals vom November 1821 bis zum November 1822.

Daraus folgt nun auch, daß die Meinung, als ob auf einen kalten Winter ein heißer Sommer, auf einen warmen Winter aber ein kühler Sommer folgen müſſe, ganz irrig iſt, indem häufig das Gegentheil ſtattfindet, wie man ſchon aus den beiden eben angeführten Beiſpielen ſieht; ſo folgte ja auch der heiße Sommer 1834 auf einen ſehr gelinden Winter.

Die Abweichungen von dem mittleren Gange der Wärme ſind im Winter meiſt auffallender als im Sommer.

Sonach iſt es höchſt wahrſcheinlich, daß ſtets daſſelbe Wärmequantum, nur ungleich, auf der Erdoberfläche vertheilt ſey. Ein kalter Winter iſt

die Folge eines längere Zeit vorherrschenden Nordoſtwindes, ein kühler Sommer aber die Folge vorherrſchender Südweſtwinde; dieſe ſich abwechſelnd verdrängenden Luftſtrömungen ſind, wie Dove gezeigt hat, das Bedingende unſerer Witterungsverhältniſſe. Wenn auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folgen ſollte, ſo müßte ein ganzes Jahr hindurch der Nordoſt-, wenn aber auf einen milden Winter ein kühler Sommer folgen ſoll, ſo müßte ein ganzes Jahr hindurch der Südweſtwind vorherrſchen.

Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur immer die Tem- 189
peratur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenſchichten beſprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verſchieden ſeyn kann; ein nackter, des Pflanzenwuchſes beraubter, ſteiniger oder ſandiger Boden wird durch die Abſorption der Sonnenſtrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wieſengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur ſchon durch die fortwährenden Luftſtrömungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikaniſchen Wüſten ſteigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60°. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenſtrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen ſelbſt binden gewiſſermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Waſſer verdunſtet; ſie erkalten aber, wie wir bald näher ſehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emiſſionsvermögen durch Ausſtrahlung der Wärme ſo ſtark, daß die Temperatur des Graſes oft 6 bis 9 Grad unter die der Luft ſinkt. Im Inneren der Wälder iſt die Luft beſtändig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieſelbe Weiſe abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft ſich niederſenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der oberſten Bodenſchichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, ſo verlieren die tieferen Bodenſchichten weniger ſchnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturſchwankungen weit geringer ſeyn als an der Oberfläche ſelbſt. In Deutſchland verſchwinden ſchon bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturſchwankungen, und in einer noch größeren Tiefe verſchwinden ſogar die jährlichen Variationen, ſo daß hier beſtändig eine Temperatur herrſcht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Caſſini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Obſervatoriums zu Paris während des ganzen Jahres ſich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieſelbe Beobachtung. Der Graf Caſſini, Mitglied der Akademie der Wiſſenſchaften, überſah zuerſt die große Wichtigkeit dieſer Erſcheinung, im Jahre 1771 fing er an, ſie durch eine

Reihe von Verſuchen näher zu unterſuchen, und im Jahre 1783 ſtellte er gemeinſchaftlich mit Lavoiſier in den Kellern des Obſervatoriums einen ſehr empfindlichen Apparat auf, welcher entſcheidende Reſultate liefern mußte. Dieſer Apparat, welcher noch jetzt daſelbſt aufgeſtellt iſt, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt ſich ein maſſiver Steinblock, Fig. 418, von 1,3 Metern Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß ſteht; in dieſem Sande ſteckt die Kugel eines Thermometers, deſſen Theilung auf Glas geätzt iſt. Das Thermometer iſt von Lavoiſier ſelbſt conſtruirt und mit wohl gereinigtem Queckſilber gefüllt; ſeine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmeſſer, und die Röhre iſt ſehr fein, ſo daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß alſo $^1/_{100}$ Grad noch faſt eine Länge von 1^{mm} hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ableſen. Das Thermometer geht nur bis auf 16^0, es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Queckſilber hineinſteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16^0 ſteigen ſollte.

Fig. 418.

Dieſes Thermometer zeigt nun eine conſtante Temperatur von $11{,}82^0$, und dieſe Temperatur hat ſich ſeit einem halben Jahrhundert nicht geändert. Während dieſer ganzen Zeit iſt es nie um $^{25}/_{100}$ Grad von dieſer Temperatur von $11{,}82^0$ abgewichen, und man konnte nachweiſen, daß dieſe Abweichungen wahrſcheinlich durch zufällige Luftſtrömungen herbeigeführt worden waren, welche durch die Arbeiten der Steinbrecher von Paris veranlaßt wurden.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturſchwankungen verſchwinden, iſt nicht in allen Gegenden dieſelbe; ſie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterſchiedes der heißeſten und kälteſten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerika's fand Bouſſingault ſchon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine conſtante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verſchiedenen Zeiten des Jahres verbreitet iſt.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, überſieht man aus folgenden Reſultaten, welche die zu Brüſſel in dieſer Beziehung von 1834 bis 1837 angeſtellten Verſuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
0,19m	13,28°
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13.

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburg in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53°	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren seyn. So ist z. B. zu Jakuzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 9,7° ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5°; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m	— 7,5°
23,5	— 6,9
36,3	— 5,0
116,5	— 0,6.

Die ſtationäre Temperatur des Bodens wächſt alſo mit zunehmender Tiefe. Daſſelbe Reſultat gaben auch an anderen Orten die Temperaturbeſtimmungen des Bodens in großen Tiefen, die man in tiefen Schachten und in arteſiſchen Brunnen gemacht hat. Im Durchſchnitt wächſt die Temperatur für eine jedesmalige Vertiefung von 31 bis 32 Metern um 1^0.

190 **Quellentemperatur.** Die meiſten waſſerreichen Quellen haben eine Temperatur, welche ſich in den verſchiedenen Jahreszeiten nur ſehr wenig ändert; in unſerer Hemiſphäre erreichen ſie meiſtens ihre höchſte Temperatur im September, die niedrigſte im März; die Differenz ihrer höchſten und ihrer niedrigſten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2^0. Die mittlere Temperatur der Quellen iſt, wie die Temperatur der Erdſchichten, aus welchen ſie kommen, etwas höher als die mittlere Temperatur der Luft; für höhere Breiten ſteigt dieſer Ueberſchuß, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4^0; dagegen machen es einige Beobachtungen, welche in der heißen Zone gemacht wurden, wahrſcheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger iſt als die Luft.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und ſonſtigen Mineralquellen der Fall iſt. Das Waſſer mancher Quellen hat faſt die Temperatur des Siedepunktes.

191 **Temperatur der Seen und Flüſſe.** In den Seen erleiden die oberen Waſſerſchichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; ſie können im Winter zufrieren, während ſie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25^0 erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Sauſſure hat in dieſer Beziehung die meiſten Seen der Schweiz unterſucht und die merkwürdige Thatſache beſtätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5^0 beträgt.

Im Sommer wirken zwei Urſachen, um die Temperatur der oberen Waſſerſchichten zu erhöhen; die warme Luft ſtreicht über den Waſſerſpiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmeſtrahlen werden, indem ſie mehr oder weniger tief in das Waſſer eindringen, von demſelben abſorbirt. Die erwärmten Schichten miſchen ſich durch die Wellenbewegung, ſie miſchen ſich aber nicht mit den Gewäſſern der Tiefe, weil ſie wegen ihres geringeren ſpecifiſchen Gewichtes oben ſchwimmen und weil ſelbſt die heftigſte Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich iſt. Im Sommer und im Herbſt muß alſo die Temperatur des Waſſers in der Tiefe niedriger ſeyn als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Waſſerſchichten, weil ſie mit der kalten Luft in Berührung ſind und weil ſie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausſtrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, ſie ſinkt nieder und miſcht ſich mit dem wärmeren Waſſer der tieferen Schichten; ſobald ſie ſinkt, wird ſie durch eine andere erſetzt, welche ebenfalls erkaltet und niederſinkt u. ſ. w.

Wenn das Waſſer kein Dichtigkeitsmaximum hätte, ſo würden auch im Winter die tiefſten Schichten die kälteſten ſeyn, die Oberfläche könnte alſo nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Waſſermaſſe bis auf den Boden eben ſo weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde ſeyn, daß die Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Waſſer aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, iſt der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Waſſerſchichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, ſinken ſie nieder, andere Waſſertheilchen treten an ihre Stelle, und ſo geht es fort, bis die ganze Waſſermaſſe dieſe Temperatur hat. Wenn nun, ſobald dies der Fall iſt, die Kälte noch fortdauert, ſo wird die obere Waſſerſchicht durch ferneres Erkalten leichter; ſie wird alſo fort und fort erkalten können, ohne niederzuſinken; nun nimmt die Temperatur alſo mit der Tiefe zu bis zu 4,1°. Aus dieſem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisſchicht kann nur ſehr langſam zunehmen und nie eine bedeutende Dicke erlangen.

Dieſe Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und ſehr tiefe Gewäſſer nur dann zufrieren können, wenn eine ſtrenge Kälte längere Zeit anhält, denn die ganze Waſſermaſſe, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden iſt, muß nach und nach an die Oberfläche ſteigen, um da ihren Wärmeüberſchuß abzugeben; und wenn die wärmere Waſſermaſſe eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, ſo iſt klar, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden eine weit längere Zeit nöthig iſt, damit alle wärmeren Waſſertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche ſteigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann ſich deshalb auch ſchon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Waſſers vom Eiſe frei bleibt.

Es iſt nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur ſehr unvollſtändige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuß merklich, ſo mußte ein 10,000 Fuß tiefer See eben ſo leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief iſt, denn bei dem erſteren hat ja alles Waſſer, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel ſich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann alſo auf die Erſcheinungen der oberen Waſſerſchichten in keiner Weiſe wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Waſſermaſſe eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, ſo muß daſſelbe nach dem Aufthauen ebenfalls ſtattfinden, bevor die Temperatur der oberen Waſſerſchichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ſteigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer, doch beobachtet man auch häufig, daß sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, daß das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, daß die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich gefrieren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

192 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reisenden sind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben sie über die Temperatur und die damit zusammenhängenden Erscheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wissenschaft von höchstem Interesse sind.

Auf dem Meere, in großen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemäßigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande sehr groß ist; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15°.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heißesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitain Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, daß im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade ist die Luft nur selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du-Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ S. B. fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro 4° 23′ N. B. und 28° 26′ westlich von Paris an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen seyn kann und daß sie nur die Folge eines Meerstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) bei — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des

Gefrierpunktes liegt, es kann alſo nur beobachtet werden, wenn das Waſſer bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zuzufrieren. Despretz unterſuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwaſſers, indem er Thermometer damit conſtruirte, und dieſe Verſuchsmethode möchte wohl die einzige ſeyn, welche in dieſem Falle ein zuverläſſiges Reſultat geben kann. Für die Phyſik der Meere kann jedoch dies Reſultat keine Anwendung finden, indem wohl ſchwerlich eine bedeutende Waſſermaſſe ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne feſt zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwaſſers bildet ſich reines Eis, während die Concentration des flüſſigbleibenden Theiles zunimmt, die oberen Schichten nehmen alſo in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erſtens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Waſſers; da aber die dichter gewordenen Waſſertheilchen niederſinken müſſen, ſo bleibt es noch immer unerklärlich, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Waſſers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieſelbe Urſache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der feſten Erdrinde mit wachſender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von ſeinem Boden aus veranlaſſen?

Wenn am Boden des Meeres eine ſolche Erwärmung ſtattfinden ſollte, ſo könnte das erwärmte Waſſer doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres ſteigen, weil es, ſich mit den an der Oberfläche erkalteten und niederſinkenden Waſſertheilchen miſchend, ſeine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigſten Erſcheinungen der Natur. Die Eismaſſen, denen man an den Küſten von Spitzbergen und Grönland begegnet, ſind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; ſie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchſten Maſten der Schiffe nicht überſehen kann; es ſind dies die ſogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder iſt oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und ſchollig. Manchmal ſieht man Erhebungen, gleichſam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen ſehr maleriſchen Anblick darbieten, indem ſie bald die ſchönſte bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeſchicht überdeckt ſind.

Durch den Wellenſchlag, vielleicht auch durch andere Urſachen, zerberſten dieſe Eisfelder oft plötzlich und zertheilen ſich in Stücke von 100 bis 200 Quadratmeter Oberfläche. Dieſe Stücke werden oft durch einen ſchnellen Meeresſtrom fortgeführt, und wenn ſie einem entgegengeſetzten Meeresſtrome begegnen, welcher die Stücke eines anderen Eisfeldes mit ſich führt, ſo ſtoßen die Eismaſſen mit furchtbarem Krachen aneinander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwiſchen ſolche Maſſen zu gerathen, kann der ungeheuren

Kraft nicht widerstehen, es wird förmlich zerquetscht. Man hat viele traurige Beispiele, daß Schiffe auf diese Weise zu Grunde gingen.

Wenn die Eismassen zum Theil bei diesem schrecklichen Zusammentreffen zerbersten, wenn sie gleichsam zerbröckelt werden, so nehmen andere an Masse zu und werden noch furchtbarer. Eisstücke, welche durch die Wogen gehoben werden, fallen über die anderen Eisblöcke her, und so entstehen wahre Eisberge, welche oft 10 bis 15 Meter über den Wasserspiegel emporragen. Da die Dicke des über das Wasser hervorragenden Theils $\frac{1}{4}$ des untergetauchten beträgt, so sind solche Eisberge im Ganzen 55 bis 75 Meter hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländischen Meeren, sie ragen manchmal 30 bis 40 Meter über den Meeresspiegel hervor und haben also eine Totalhöhe von 150 bis 200 Metern. Man glaubt, daß sich diese Eisberge an den Küsten bilden, wo sie die Thäler versperren, welche in das Meer münden, und daß sie dann durch irgend eine Ursache losgerissen werden. In der That sieht man dort an den Küsten solche in einzelne Zacken zerrissenen Eisberge von herrlicher bläulicher Farbe und wunderbarer Höhe. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser von dem Kamme dieser Gebirge in ungeheuren Wasserfällen in das Meer herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten, denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich unter ungeheurem Krachen und stürzen in das Meer herab.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. Die 193
Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeers, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten seyn. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren

Regionen aufſteigt, mag man ſich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge beſteigen.

Gay-Luſſac fand bei ſeiner Luftfahrt im Durchſchnitt eine Temperaturabnahme von 1° für eine Erhebung von 174 Toiſen.

Auf hohen Bergen zeigt ſchon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man ſteigt, deſto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsſtriche an; am auffallendſten zeigt ſich dieſer Wechſel in den Tropen; beſonders großartig erſcheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerika's, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufſteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicaniſchen Gebirgen die Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, überſieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

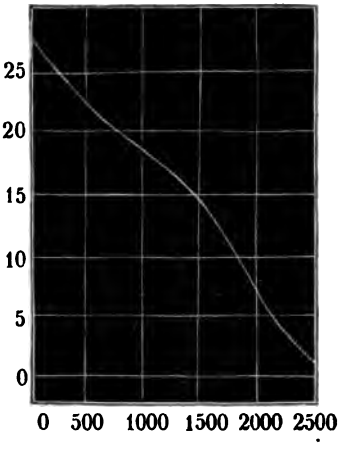
Höhe über der Meeresfläche.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicaniſche Gebirge.
0	27,5°	26,0
500'	21,8	19,8
1000	18,0	18,0
1500	14,3	14,0
2000	7,0	7,5
2500	1,5	1,0

Da ſich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, ſo kann man ſich von der Temperatur in verſchiedenen Höhen der Andeskette die beſte Vorſtellung machen, wenn man ſie mit der mittleren Temperatur gewiſſer Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoko täglich eine Temperatur, welche noch um 4° höher iſt als die mittlere Temperatur des Monats Auguſt in Palermo; zu Popayan, 911 Toiſen über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marſeille; zu Quito die Temperatur der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (1800 T.) die Temperatur der erſten Hälfte des Aprils in Paris.

Unterſuchen wir nun, nach welchem Geſetze die Temperatur abnimmt, ſo ſehen wir bald, daß dieſe Abnahme durchaus nicht gleichförmig, d. h. nicht der Erhebung proportional iſt. Erhebt man ſich in den Cordilleras de los Andes vom Spiegel des Meeres um 500 Toiſen, ſo ſinkt die mittlere

Temperatur um 5,7°, bei fernerem Steigen iſt die Temperaturabnahme weniger raſch, denn wenn man um 1000 Toiſen weiter, nämlich von 500 bis 1500 T., ſteigt, ſo ſinkt die mittlere Temperatur nur um 7,5°,

Fig. 419.



dann aber nimmt die Temperaturabnahme wieder raſch zu, indem ſie ſchon für die nächſten 500 Toiſen, von 1500 bis 2000, faſt eben ſo viel, nämlich 7,3°, beträgt. Um das Geſetz der Temperaturabnahme recht anſchaulich zu machen, iſt es Fig. 419 graphiſch dargeſtellt; die Abſciſſen ſind den Erhebungen über dem Meeresſpiegel, die Ordinaten den entſprechenden mittleren Temperaturen proportional; man ſieht, wie die Temperatur anfangs raſch ſinkt, wie die Temperaturkurve zwiſchen 500 bis 1500 Toiſen weniger ſteil iſt, wie ſie ſich aber alsdann wieder raſch ſenkt.

Das Geſetz der Temperaturabnahme, welches namentlich von der Configuration der Gebirgszüge abhängt, iſt nicht für alle Gegenden daſſelbe, ſo iſt es z. B. ſchon für die mexicaniſchen Gebirge ein anderes.

Beim Aufſteigen in einem Luftballon muß man nothwendiger Weiſe ein ganz anderes Geſetz der Temperaturabnahme beobachten als auf hohen Bergen, weil die Gebirge, indem ſie ſich unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen erwärmen und des Nachts die Wärme ausſtrahlen, nothwendig auf die Temperatur der Luftſchichten einwirken müſſen, in welche ſie hineinragen. Dieſer Einfluß wird um ſo mächtiger ſeyn, je bedeutender die Maſſe der Gebirge iſt. Ein iſolirter hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmoſphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmaſſen an ihm vorbeiführen; eine Hochebene von bedeutendem Um-

fange aber, welche ſich unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen bedeutend erwärmen kann, indem ſie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftſchicht bedeckt iſt als die tieferen Gegenden, weil alſo die Sonnenſtrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Abſorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen, kann allerdings einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr ſchweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden muß es demnach auf Hochebenen wärmer ſeyn als auf iſolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicaniſchen Gebirgen zwiſchen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört ſchon in einer Höhe von 4200 Metern alle phanerogamiſche Vegetation auf, die Schneegränze findet ſich in einer Höhe von 4500 Metern, während bei gleicher ſüdlicher Breite in Peru in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potoſi liegt 4166 Meter über dem Meeresſpiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 5646 Metern. Dies erklärt ſich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Peru's. Das Plateau, in deſſen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt ſich zwiſchen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 3800 Metern; bei einer Breite von 60 geographiſchen Meilen erſtreckt es ſich vom 16. bis zum 20. Grade ſüdlicher Breite, ſo daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchſtens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicaniſchen Hochebene beträgt nur 2000 bis 2500 Meter.

Ein anderes Beiſpiel bietet die Hochebene von Tibet und der chineſiſchen Tartarei. In einer Höhe von 3663 Metern wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerſte ſteigt noch weit höher hinauf, während auf dem ſüdlichen Abhange des Hymalaya, in den Thälern des Ganges ſchon in einer Höhe von 2970 Metern alle Cultur aufhört; ja ſelbſt unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca iſt die Gränze der Cultur des Weizens 760 Meter tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen iſt in ihrer Mitte am bedeutendſten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, iſt die mittlere Jahrestemperatur 14,5°, während ſie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° iſt.

Während ſich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenſtrahlen ſtark erwärmen, indem dieſe nur eine weniger hohe und weniger dichte Luftſchicht zu durchdringen haben, weil ſie alſo weniger durch atmoſphäriſche

Absorption geschwächt sind als die Strahlen, welche die tieferen Ebenen treffen, ist auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caramarca in Peru, wo in einer Höhe von 1660 Metern die mittlere Temperatur 16° ist, verfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7°, und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

Während auf Hochebenen die periodischen Temperaturschwankungen größer sind als in der Tiefe, sind sie für isolirte Gebirge umgekehrt in der Höhe geringer, weil die isolirten Berge auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben und weil die periodischen Temperaturveränderungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe weniger merklich sind. So ist z. B. nach Humboldt's Angaben die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum zu Cumana (10 Meter über dem Meeresspiegel) 11,5°, zu Quito aber 16°. Kämtz fand dagegen als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums auf dem Faulhorn gleich 3,8°, während in Zürich gleichzeitig diese Differenz 9,5° war. Auf dem Gipfel des Faulhorns sind also die täglichen Schwankungen geringer, auf dem Plateau von Quito aber größer als in der Tiefe.

Da der tägliche Gang der Wärme auf den Höhen ein anderer ist als in der Tiefe, so ist auch die Differenz der gleichzeitigen Temperaturen an der höheren und an der tieferen Station nicht zu allen Stunden dieselbe.

Auch der jährliche Gang der Wärme ist in der Höhe ein anderer, folglich wird auch der Unterschied der mittleren Temperaturen zweier ungleich hohen Stationen in verschiedenen Monaten nicht derselbe seyn. Aus einer 20jährigen Reihe von Beobachtungen, die gleichzeitig auf dem St. Bernhard und in Genf angestellt wurden, ergaben sich für die Temperaturdifferenz der beiden Orte in den verschiedenen Monaten folgende Werthe:

Monate.	Temperaturdifferenz.	Höhe, um welche man ſich erheben muß, damit die Temperatur um 1° R. ſinkt.
Januar	6,64° R.	970 Par. F.
Februar	7,74	832
März	8,80	731
April	9,52	676
Mai	9,30	692
Juni	9,46	680
Juli	9,55	674
Auguſt	9,67	702
September . . .	8,74	736
October	8,32	773
November . . .	7,53	855
December . . .	7,68	837
Mittel	8,54	753

Wenn die Temperaturabnahme gleichförmig wäre, ſo würde man leicht die Höhe finden, um welche man ſich erheben muß, damit die Temperatur um 1° ſinkt, wenn man mit der Temperaturdifferenz der beiden Stationen in den Höhenunterſchied derſelben dividirt; für unſer Beiſpiel beträgt dieſe Höhendifferenz 6435 Par. Fuß; da aber die Temperaturdifferenz beider Orte im Durchſchnitt 8,54° R. iſt, ſo ergiebt ſich als Mittel für die Höhe, um welche man in den Alpen ſteigen muß, damit die Temperatur um 1° ſinkt, $\frac{6435}{8,54} = 743' = 125$ Toiſen oder 100 Toiſen für 1° C. Auf ähnliche Weiſe ſind alle Zahlen der letzten Columne der obigen Tabelle berechnet.

Während die Vergleichung der Temperaturen von Genf und St. Bernhard im Durchſchnitt eine Erhebung von 100 Toiſen oder 195 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. geben, erhält man aus der Vergleichung der Temperatur anderer Orte, die in verſchiedener Höhe in den Alpen oder in der Nähe derſelben liegen, im Durchſchnitt eine Erhebung von 173 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. Dieſe Differenz rührt wahrſcheinlich daher, daß die Temperatur am Hoſpiz auf dem St. Bernhard durch den Einfluß der Südwinde, dem es beſonders ausgeſetzt iſt, etwas erhöht wird.

Da Humboldt für die ſüdamerikaniſchen Gebirge unter dem Aequator

eine Temperaturabnahme von 26° C. für eine Erhebung von 2500 Toiſen fand, ſo ergiebt ſich dort im Durchſchnitt eine Erhebung von 96 Toiſen oder 187 Metern für eine Temperaturabnahme von 1° C., auf den Plateaus aber eine Erhebung von 243 Metern für 1°.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° entſpricht, ſo kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche ſich unter ſonſt gleichen Umſtänden im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterſchiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° entſpricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, ſo findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher ſeyn würde. Wir haben eben geſehen, daß in den Alpen durchſchnittlich 100 Toiſen einer Temperaturdifferenz von 1° C. entſprechen; nun aber iſt das Hoſpiz auf dem St. Bernhard 1280 Toiſen über dem Meeresſpiegel, ſeine mittlere Temperatur iſt auf $\frac{1280}{100} = 12{,}8°$ niedriger als am Meeresſpiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 1° iſt, ſo ergiebt ſich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 11,8°.

Genf liegt 203 Toiſen über dem Meeresſpiegel, ſeine mittlere Temperatur 9,7° iſt demnach $\frac{203}{100} = 2{,}03°$ niedriger als ſie ſeyn würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; ſeine Temperatur würde alſo für dieſen Fall 9,7 + 2,03 = 11,73° betragen.

Die mittlere Temperatur der ſüdöſtlichen Schweiz, auf dem Meeresſpiegel reducirt, wäre demnach 11,7 bis 11,8° C.

Die Iſothermen auf der Karte Seite 507, ſo wie die Iſotheren und Iſochimenen auf der Karte Seite 511 ſind ſo gezogen, wie dieſe Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresſpiegels lägen; die Temperatur der verſchiedenen Orte iſt alſo auf das Niveau des Meeres reducirt.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um ſo höher, je mehr man ſich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden der Erde iſt in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meers in gleicher Breite	
			des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küſte	71¼° N.	720m	0,2	6,4
Norwegen, im Inneren . .	70—70¼°	1072	— 3,0	11,2
Island	65°	936	4,5	12,0
Norwegen, im Inneren . .	60—62°	1560	4,2	16,3
Altankette (Sibirien). . .	60° 55′	1364	. . .	. . .
Nördl. Ural	59° 40′	1460	1,2	16,7
Kamſchatka	56° 40′	1600	2,0	12,6
Altai	49¼—51°	2144	7,3°	16,8
Alpen	45¾—46°	2708	11,2	18,4
Kaukaſus (Elborus) . . .	43° 21′	3372	13,8	21,6
Pyrenäen.	42½—43°	2728	15,7	24°,0
Aetna	37½°	2905	18,8	25,1
Nördl. Abhang } d. Himalaya	30¾—31°	5067	. . .	. . .
Südl. Abhang } d. Himalaya	. . .	3956	20,2	25,7
Mexico	19—19¼°	4500	25	27,8
Abyſſinien	13° 10′	4287	. . .	. . .
Sierra Nevada de Merida .	8° 5′	4550	27,2	28,3
Vulkan v. Tolima . . .	4° 46′	4670	. . .	. . .
Quito	0° 0′	4824	27,7	28,6
Oeſtliche } Cordilleras v. Chili	14½—18° S.	4853	. . .	. . .
Weſtliche } Cordilleras v. Chili		5646		
Chili, Andes d. Küſte . .	41—44°	1832	. . .	. . .
Magellansſtraße	53—54°	1130	5,4°	10°

Man glaubte ſonſt, daß ſich die Gränze des ewigen Schnees ſtets in ſolchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° iſt. Wenn dies ſo wäre, ſo müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null iſt, beſtändig mit Schnee bedeckt ſeyn, während wir doch z. B. wiſſen, daß ſelbſt zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 9,7°, noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher ſelbſt im Sommer der Schnee nicht wegſchmilzt, kann alſo nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, ſie hängt nicht ſowohl von der mittleren

Jahreswärme, ſondern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verſchiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakuzk iſt die mittlere Temperatur des heißeſten Monats 20,3°. Bei einer ſolchen Wärme muß der Schnee wegſchmelzen, der Winter mag noch ſo kalt geweſen ſeyn. Wenn zu Jakuzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 9,7° die Wärme ſo vertheilt wäre, daß ſie nur zwiſchen 0° und — 20° ſchwankte, ſo würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann alſo an Orten, welche ein ſehr exceſſives Klima haben, ſehr niedrig ſeyn; in ſolchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur geringer iſt, wird die mittlere Jahrestemperatur der Luftwärme an der Gränze des ewigen Schnees höher ſeyn. Da nun zwiſchen den Wendekreiſen die Schwankungen der Temperatur weit geringer ſind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, ſo wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher ſeyn als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° betrüge, ſo könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegſchmelzen, und man ſieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes um nur ſehr wenige Grade ſchwankt, die mittlere Temperatur über 0° ſeyn muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegſchmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es iſt daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null iſt.

In den Tropen iſt die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,5°, während ſie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 6° iſt; in Sibirien iſt ſie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweiſe von der Temperatur des heißeſten Monats abhängt, ſo muß die Höhe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich iſt, verſchieden ſeyn, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich iſt, wenn die eine Gegend ein Küſtenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küſtenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade faſt ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island iſt aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (630^m) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, deſto heißer muß es im Sommer werden, wenn er ganz wegſchmelzen ſoll; da nun an den Küſten mehr Schnee fällt als im Inneren der großen Continente, wo die Luft weit trock-

ner iſt, ſo iſt darin ein neuer Grund zu ſuchen, warum an den Küſten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukaſus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur ſowohl als auch die mittlere Sonnenwärme iſt am Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukaſus, und doch iſt die Schneegränze am Kaukaſus um 650 Meter höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erſcheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 1100 Meter höher liegt als am ſüdlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indiſchen Ocean mit Feuchtigkeit geſättigte Luft, an den ſüdlichen Abhang des rieſenhaften Gebirges anſchlagend, dort ungeheure Maſſen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen abſetzt, während aus der trocknen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber ſchließt ſich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während ſich das Gebirge auf der Südſeite raſch bis zum Spiegel des Meeres herabſenkt.

Das Taffelland von Tibet beſteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturſchwankungen außerordentlich groß ſind; da die ſo felſigen und ſandigen Hochebenen ſich im Sommer durch die Abſorption der Sonnenſtrahlen bedeutend erwärmen, wirken ſie eben deshalb bedeutend, um die Schneegränze zu erhöhen.

Ein ähnlicher Unterſchied zeigt ſich zwiſchen den öſtlichen und weſtlichen Cordilleras von Chili. Nach den Meſſungen von Pentland iſt die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator ſelbſt, was offenbar nur von dem Einfluſſe der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees ſteigt und ſinkt mit den verſchiedenen Jahreszeiten; dieſe Schwankung iſt in der heißen Zone Amerika's ſehr unbedeutend, ſie beträgt, nach Humboldt, nur 80 bis 110 Meter; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechſeln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicaniſchen Gebirgen liegen die Gränzen, zwiſchen welchen die Schneegränze auf- und niederſteigt, ſchon bedeutend weiter, nämlich um 623 Meter, auseinander; dieſer Unterſchied iſt leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmſten Monate in Mexico um 6^0, in Quito aber nur 1^0 bis 2^0 mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kälteſten Monate.

Eine ganz eigenthümliche, den ewigen Schnee hoher Gebirge häufig begleitende Erſcheinung ſind die Gletſcher. Möge es erlaubt ſeyn, die

treffliche Beschreibung der Alpengletscher hier wörtlich anzuführen, welche Kämtz in seinen »Vorlesungen über Meteorologie« gegeben hat.

»Betrachtet man ein größeres Gebirge, z. B. die Alpen, im Sommer von einem entfernten Standpunkte (Rigi oder Weißenstein bei Solothurn), so unterscheidet man deutlich in der Tiefe die Region der Cultur, darüber den Waldgürtel, späterhin die ausgedehnten Weiden und über diesen die Region des Schnees. Die untere Gränze desselben erscheint ziemlich scharf als horizontale Linie, nur an einzelnen Stellen ziehen sich von ihr unregelmäßige weiße Streifen bis zu bedeutender Tiefe herab; diese Streifen, welche deutlich in den Thälern liegen, sind die Gletscher.

»Wenn man den Gletscher näher betrachtet, so findet man, daß er ganz aus Eis, keineswegs aber aus Schnee besteht, und daß diese Masse oft rings von Getreidefeldern umgeben ist. Dieses Eis bildet aber nicht die zusammenhängenden durchsichtigen Massen, wie es uns das auf den Flüssen gebildete Eis zeigt, vielmehr läßt es sich mit der größten Leichtigkeit in Körner zerschlagen, welche einzeln in hohem Grade durchsichtig, aber von einander durch Zwischenräume getrennt sind. Dadurch, daß die ganze Eismasse nur aus solchen Körnern besteht, wird es uns möglich, mit Leichtigkeit auf den Gletschern zu gehen. In der Tiefe haben diese Körner etwa die Größe einer Wallnuß; so wie wir jedoch höher steigen, werden sie kleiner, bis sie in der Höhe von 8000 Fuß etwa die Größe von Erbsen haben. Die Oberfläche des Gletschers bildet hier nicht mehr die compacte Masse; bei schönem Sonnenschein sinkt man in sie wie in lockeren Sand ein; diese lockere Masse hat den Namen Firn, sie wird immer kleiner, und in den höchsten Regionen geht sie allmälig in Schnee über; selbst wenn die Oberfläche mit Firn bedeckt ist, treffen wir in der Tiefe einiger Zolle eigentlichen Schnee.

»Diese Firnmasse ist aus dem Schnee entstanden, und ich hatte im Jahre 1833 Gelegenheit, die Bildung derselben sehr deutlich zu verfolgen. Im August und noch mehr im September fielen auf dem Faulhorn ungeheure Schneemassen, an manchen Stellen lag er neben dem Wirthshause mehr als 6 Fuß hoch. Der Schnee selbst bestand entweder aus regelmäßigen Krystallen oder Spießen, welche scheinbar von dem Mittelpunkte einer Kugel nach allen Seiten ausliefen. Es folgte nun eine Zeit schönes heiteres Wetter; obgleich das Thermometer sich selbst bei Tage in Schatten wenig vom Gefrierpunkte entfernte, wirkte doch die Sonne mit ungeheurer Mächtigkeit auf den Schnee, dieser war am ersten Tage etwa bis zur Tiefe eines Zolls mit Wasser durchdrungen. Am folgenden Morgen hatte sich eine unregelmäßige glänzende Eisrinde gebildet, die sich jedoch mit Leichtigkeit eindrücken ließ. Kaum aber hatte die Sonne einige Zeit darauf gewirkt, so war der Zusammenhang der Theile verschwunden, und bis zur Dicke einiger Linien lagen auf der Oberfläche des eigentlichen Schnees durch-

sichtige Eiskügelchen von der Größe der Hirsenkörner. Mehrere Tage wiederholte sich der Vorgang, aber dann war am Morgen die Eisrinde so fest, daß ich darauf stehen konnte; die Firnkörner lagen mehrere Zoll hoch über dem Schnee, dabei hatten sie an der Oberfläche die Größe kleiner Erbsen erlangt und wurden nach unten kleiner. Leider konnte ich den Vorgang nicht bis zu größerer Tiefe verfolgen, da neue Schneemassen die früheren bedeckten und nur eine Wiederholung des eben beschriebenen Processes zeigten.

» — — — — Man denke sich in den Alpen zwei Berge von mehr als 8000 Fuß Höhe, zwischen denen ein Thal mit Schnelligkeit in die Tiefe stürzt. Die bedeutenden Schneemassen des Winters werden theils durch Wind, theils durch Lawinen in das Thal gestürzt; erst spät im Frühling wird die Wärme in der Höhe so bedeutend, daß die Sonne auf den Schnee einzuwirken vermag. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt mit Schnelligkeit in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Krystallen und füllt diese abwechselnd mit kleinen Luftblasen ganz aus. Wenn es in der folgenden Nacht friert, eine Erscheinung, die sich in diesen Regionen den ganzen Sommer hindurch oft wiederholt, dann verbindet sich das Wasser mit den Schneeflocken, mit denen es in Berührung steht, letztere selbst werden in Körner von durchsichtigem Eise verwandelt, die vorhandenen Luftblasen sind die Ursache, daß die ganze Oberfläche sich nicht in eine compacte Masse verwandelt. Wiederholt sich am folgenden Tage die Einwirkung der Sonne, so wird die Rinde bald aufgelockert, es werden einige Körner geschmolzen, aber vorzugsweise die kleineren, welche sich in Wasser verwandeln, und dieses verbindet sich in der folgenden Nacht mit den noch übrig gebliebenen und vergrößert die Dimensionen derselben. War die im Winter angehäufte Schneemasse bedeutend und der nun folgende Sommer vielleicht nicht sehr warm, so wird sie nicht immer ganz geschmolzen, sondern nur in eine Firnmasse verwandelt, deren Größe durch den Schnee des nächsten Winters bedeutend vergrößert wird. Wiederholt sich der Vorgang mehrere Jahre, so entsteht ein neuer Gletscher, wie man dieses in den Alpen öfter beobachtet hat. Dabei nehmen nach und nach die Dimensionen der Eiskörner zu, und wenn auch noch immer die einzelnen derselben durch Luftbläschen getrennt bleiben, so greifen die unregelmäßigen Erhöhungen einiger so in die Vertiefungen zwischen anderen, daß das Ganze eine compacte Masse bildet. Doch bleibt dieser Körper nicht auf der Stelle, auf welcher er in dem engen Thale entstand. Stand er zuerst mit den Wänden desselben in Berührung, so wird der an den letzteren liegende Schnee bald weggeschmolzen, das von den Höhen herabkommende Wasser tritt stellenweise unter die Schnee- und Eismasse und zerstört hier und da die Basis derselben theils durch eigentliches Schmelzen, theils durch mechanisches Fortreißen. Das Ganze berührt nicht mehr allenthalben den Boden, Kanäle von unregel-

mäßiger Gestalt sind mit Wasser gefüllt, welches bald frei abfließt, bald durch losgerissene Eismassen sich selbst den Ausgang versperrt und nun einen Druck nach oben ausübt. Auch die obere Schneemasse sucht auf der häufig sehr geneigten Basis sich nach unten zu bewegen; so wird das auf einzelnen Füßen stehende Eis vielfach gedrängt, es entstehen Risse und Spalten, welche sich von oben nach unten erstrecken und in welche sich das Wasser stürzt, welches durch Einwirkung der Sonne auf der Oberfläche gebildet wird. Geschieht dieses erst, so wird die Basis noch mehr angegriffen, besonders scheint dieses dann der Fall zu seyn, wenn mehrere kalte Nächte folgen, wo das Wasser stellenweise gefriert, bei seiner Verwandlung in Eis sich ausdehnt und dadurch die schmalen Spalten wie ein eingetriebener Keil erweitert, während die zuerst genannten Ursachen besonders bei anhaltend warmem Wetter thätig sind. So arbeitet also Alles dahin, die Gletschermasse nach unten zu bewegen; zuerst wird sie in eine Menge einzelner Blöcke von größeren oder geringeren Dimensionen zerrissen, wobei sich ein donnerähnliches Getöse hören läßt, und diese Blöcke werden dann mit Leichtigkeit langsam fortgeschoben. Daher finden wir denn in den steilen Thälern diese ewigen Eismassen, während die begränzenden Bergwände mit kräftigen Wäldern und dem üppigsten Grün überzogen sind. Begreiflich aber wird es, daß diese Gletscher sich in ähnlich gebildeten Thälern desto mehr in die Tiefe erstrecken müssen, je höher die umliegenden Berge sich in die Region der Wolken erheben; hier sind die Schneemassen, welche durch Winde und Lawinen in die Tiefe geführt werden, größer, hier ist ferner der Druck des Schnees, so wie die Masse des unter dem Schnee wegfließenden Wassers bedeutender, die große Eismasse erfordert also längere Zeit zum gänzlichen Wegschmelzen, und so kann sie nach tiefer und wärmer liegenden Regionen kommen, ehe sie ganz verschwindet. Da das Eis am unteren Ende der Gletscher eine große Reihe von Jahren hindurch die Wärme des Sommers, so wie die Kälte des Winters empfunden hat, so ist durch die häufige Wiederholung des partiellen Thauens und Gefrierens das Volumen der Krystalle so groß geworden, wie wir es unten beobachten.

»Da die Gletscher dem Gesagten zufolge nur locale Phänomene sind, da die Erfahrung ferner zeigt, daß ihr unterstes Ende im Allgemeinen desto tiefer liegt, je höher die umgebenden Berge sind, so müssen wir sie bei der Bestimmung der Schneelinie ganz übersehen. Nur da, wo der Schnee auf kleinen Bergebenen und wenig geneigten Flächen noch am Ende des Sommers anfängt liegen zu bleiben, darf sie aufgesucht werden. — — —«

Wir haben bisher nur die Temperaturverhältnisse auf hohen Gebirgen selbst, aber nicht den Einfluß betrachtet, den diese Gebirge auf die benachbarten Ebenen ausüben. Dieser Einfluß ist aber unter Umständen sehr bedeutend; einen erwärmenden Einfluß üben sie durch die Reflexion der

Wärmeſtrahlen an den Bergabhängen und durch den Schutz aus, den ſie oft gegen die herrſchenden Winde gewähren; dagegen wirkt die Nähe hoher Gebirge abkühlend auf die Ebenen, indem ſie das Niederſenken kalter Luftſtrömungen häufig verurſachen und begünſtigen. Dieſer erkaltende Einfluß iſt beſonders merklich, wenn die Berghöhen mit Schnee bedeckt ſind.

194 **Abſorption der Wärmeſtrahlen durch die Atmoſphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinſe Zunder durch Concentration der Sonnenſtrahlen anzünden will, ſo wird man einen großen Unterſchied finden, je nachdem man den Verſuch Mittags anſtellt, wo die Sonne hoch am Himmel ſteht, oder des Abends, wenn ſie ihrem Untergange nahe iſt; während ſich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geſchieht dieſes am Abend entweder nur ſehr ſchwierig oder gar nicht; die Intenſität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmeſtrahlen iſt alſo in dieſen beiden Fällen ebenſo ungleich wie die Intenſität der Lichtſtrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl anſehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenſtrahlen geblendet.

Dieſer Unterſchied in der Intenſität der Licht- und Wärmeſtrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenſtrahlen durch die Atmoſphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer iſt, wenn die Sonne dem Horizonte nahe ſteht; je größer aber der Weg iſt, den die Sonnenſtrahlen in der Atmoſphäre zurücklegen, deſto mehr Licht und Wärme wird abſorbirt werden.

Fig. 420.

Um annähernd die Wärmeabſorption in der Atmoſphäre zu beſtimmen, hat Herſchel ein Inſtrument conſtruirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab dieſem Inſtrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindriſche Gefäß v, Fig. 420, iſt aus dünnem Silberblech gemacht, ſein Durchmeſſer beträgt ungefähr 1 Decimeter, ſeine Höhe 14

bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c', so daß sie mit dem Gefäße v mittelst des Knopfes b beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefäße v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefäßes v ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäß v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes v gerade auf die Scheibe d fällt, so kann man sicher seyn, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäß v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes v jedenfalls bedeutender seyn als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun 4 Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der 5ten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden 5 Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der 10ten Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden 5 Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sey g die in 5 Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat

in den 5 vorhergehenden und in den 5 folgenden Minuten erleidet, ſo iſt die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenſtrahlen hervorgebracht ſeyn würde, wenn kein Wärmeverluſt ſtattgefunden hätte,

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate von 5 Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angeſtellt hat.

Beobachtungsſtunden.	Dicke der durchlaufenen Luftſchicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.	Berechnete Temperaturerhöhung.	Unterſchiede.
	Am 28. Juni 1837.			
7 U. 30′ Morgens	1,860	3°80	3°69	+ 0,11
10 U. 30′ »	1,164	4,00	4,62	— 0,62
Mittag	1,107	4,70	4,70	0
1 U.	1,132	4,65	4,67	— 0,02
2	1,216	4,60	4,54	+ 0,06
3	1,370	»	4,32	»
4	1,648	4,00	3,95	+ 0,05
5	2,151	»	3,36	»
6	3,165	2,40	2,42	— 0,02
	Am 27. Juli 1837.			
Mittag	1,147	4,90	4,90	0
1 U.	1,174	4,85	4,86	— 0,01
2	1,266	4,75	4,74	+ 0,01
3	1,444	4,50	4,51	— 0,01
4	1,764	4,10	4,13	— 0,03
5	2,174	3,50	3,49	+ 0,01
6	3,702	3,35	3,42	— 0,07
	Am 22. September 1837.			
Mittag	1,507	4,60	4,60	0
1 U.	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5	4,992	»	1,91	»

Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.	Berechnete Temperaturerhöhung.	Unterschiede.
		Am 4. Mai 1838.		
Mittag	1,191	4,80	4,80	0
1 U.	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6	4,311	1,95	1,94	+ 0,01
		Am 11. Mai 1838.		
11 U.	1,193	5,05	5,06	— 0,01
12	1,164	5,10	5,10	0
1	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2	1,288	4,85	4,95	— 0,10
3	1,473	4,70	4,73	— 0,03
4	1,812	4,20	4,37	— 0,17
5	2,465	3,65	3,67	— 0,02
6	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die vertikale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede seyn wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug, um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt ſich nun, ob man aus ſolchen und ähnlichen Verſuchen ein Geſetz für die Abſorption der Wärmeſtrahlen in der Luft in der Weiſe ableiten kann, daß ſich daraus die abſolute Größe der atmoſphäriſchen Abſorption ergiebt, daß man danach die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Waſſer im Heliometer erfahren würde, wenn man das Inſtrument an die Gränze der Atmoſphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, daß ſich die Formel

$$t = a p^{\varepsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anſchließt, wenn man für a immer den conſtanten Werth 6,72, für p aber einen Werth ſetzt, der von einem Tage zum andern ſich ändert. Dieſer Werth von p iſt nach den Beobachtungen vom

28. Juni . . .	0,7244
27. Juli . . .	0,7585
22. September .	0,7780
4. Mai . . .	0,7556
11. Mai . . .	0,7888.

Für ε iſt die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftſchicht zu ſetzen, wie ſie in der zweiten Columne ſteht; nach dieſer Formel ſind die Werthe der vierten Columne berechnet.

Pouillet ſchließt nun weiter, daß, wenn man in dieſer Formel $\varepsilon = o$ ſetzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müſſe, welche das Heliometer an der Gränze der Atmoſphäre oder in dem Falle erfahren würde, daß die Atmoſphäre keine Wärmeſtrahlen abſorbirte. Man erhält für $\varepsilon = o$

$$t = a = 6{,}72.$$

An der Gränze der Atmoſphäre würde demnach die Temperatur des Inſtrumentes um $6{,}72^0$ über die Temperatur der Umgebung ſteigen. Es werden demzufolge ſelbſt am Mittag an ganz heiteren Tagen ungefähr $^1/_3$ der von der Sonne kommenden Wärmeſtrahlen von der Atmoſphäre abſorbirt; wenn der Himmel bewölkt oder nur mit einem Schleier überzogen iſt, muß die Wärmeabſorption in der Luft noch viel bedeutender ſeyn.

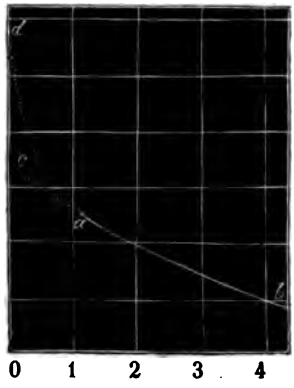
Dieſes Reſultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angeſehen werden, wie ſich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Wir haben oben Seite 460, geſehen, daß, wenn Wärmeſtrahlen auf ein abſorbirendes Mittel fallen, in den erſten Schichten eine ſtärkere Abſorption ſtattfindet als in den folgenden. Die Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 Millim. Dicke gehen, verhalten ſich zu einander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'ſche Lampe dient, wie 65,3 : 61 : 60. Geſetzt nun, man hätte nur mit dieſen drei Platten Verſuche angeſtellt, man wüßte aber nicht, welches die directe Wirkung der Wärme-

quelle ist, könnte man sie wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Gewiß nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Kurve *ab*, Fig. 421, stellt das Gesetz dar, nach welchem die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Kurve ist nach dem am 4. Mai 1838 Mittags 4, 5 und 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Luftschichten sind als Abscissen, die entsprechende Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie groß die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre seyn würde, muß man die Kurve auch noch jenseits *a*, nach der Ordinate *o* hin, so verlängern, wie das Kurvenstück innerhalb *ab* andeutet, d. h. so, daß das angesetzte Kurvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Kurve bis *c* fortgesetzt, und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 6,7°; allein wir können die Kurve *ba* auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach *d* führen, und die Kurve *dab* würde immer noch eine continuirliche krumme Linie seyn; und wenn dieser Lauf der Kurve das wahre Verhältniß darstellte, so würde die Temperaturerhebung an der Gränze der Atmosphäre 12° seyn, in diesem Falle würden selbst am Mittage weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Kurve innerhab *ab* enthält nicht Bestimmungsstücke genug, um sie außerhalb dieser Gränzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Fig. 421.



Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich, wie die Pouillet'sche, den Beobachtungen ziemlich gut anschließt, so folgt daraus noch nicht, daß sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann noch viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, vielleicht auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch für den Fall, daß man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich Null setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmäßig, um innerhalb der Beobachtungsgränze Zwischenwerthe zu berechnen; über diese Gränzen hinaus kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte man z. B. für ver-

ſchiedene Temperaturen zwiſchen 8° und 20° die Dichtigkeit des Waſſers mit der größten Genauigkeit beſtimmt, hätte man für die Abhängigkeit zwiſchen der Temperatur und der Dichtigkeit eine Formel conſtruirt, welche ſich den Beobachtungen ſehr gut anſchließt, ſo würde ſich aus denſelben doch wohl ſchwerlich beweiſen laſſen, daß das Waſſer bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht ſchon zum Voraus gewußt hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 421 zeigt ſich, daß man die Kurve von *a* aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate *o* führen kann, als zum Punkte *c*, daß alſo die Wärmeabſorption in der Atmoſphäre *wenigſtens* ſo groß iſt, wie *Pouillet* gefolgert hat, d. h. daß alſo ſelbſt für große Sonnenhöhen *wenigſtens* $\frac{1}{3}$ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmeſtrahlen von der Atmoſphäre abſorbirt werden.

Pouillet berechnet in der Vorausſetzung, daß die Temperaturerhöhung des Heliometers in 5 Minuten wirklich 6,72° betragen würde, wenn die Atmoſphäre keine Wärmeſtrahlen abſorbirte, die Wärmequantität, welche in der angegebenen Zeit dem Inſtrumente durch die Sonnenſtrahlen zugeführt würde; daraus ſchließt er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt ſo zu dem Reſultate, daß, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf die Erde ſendet, auf derſelben gleichförmig vertheilt wäre und daß ſie ohne Verluſt zum Eisſchmelzen verwendet würde, daß ſie alsdann im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisſchicht von 31 Metern Dicke zu ſchmelzen; und ferner, daß, wenn die Sonne ringsum von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme ausſchließlich verwendet würde, um dieſes Eis zu ſchmelzen, daß alsdann in einer Minute eine Schicht von 12 Metern Dicke weggeſchmolzen werden würde.

Da die Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche *Pouillet* zu dieſem Reſultate gelangte, zu ſchwankend iſt, ſo iſt wohl eine nähere Erörterung derſelben überflüſſig.

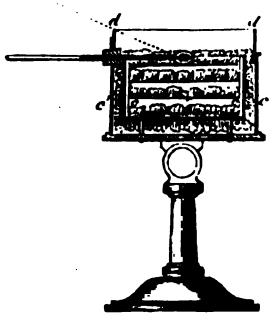
195 **Eigene Wärme der Erde und Temperatur des Weltraums.** Obgleich alle Wärme auf der Erdoberfläche nur von der Sonne kommt, ſo hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maaße zunimmt, welche uns dieſe Beobachtungen zeigen, ſo müßte ſchon in einer Tiefe von 3200 Metern die Temperatur des ſiedenden Waſſers herrſchen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend und im geſchmolzenen Zuſtande ſich befinden. Daß wir von dieſer ungeheuren Hitze im Inneren der Erde auf der Oberfläche nichts

merken, läßt ſich durch das ſchlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruſte erklären, welche dieſen glühenden Kern einſchließt.

Auch der Weltraum hat ſeine eigenthümliche Temperatur, und es hat nicht an Verſuchen gefehlt, dieſelbe zu beſtimmen. Nach Fourier iſt die Temperatur des Weltraums — 50° bis — 60°, Arago aber hat darauf aufmerkſam gemacht, daß ſie jedenfalls bedeutend geringer ſeyn muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° beobachtet hat. Eine ſo ſtarke Temperaturerniedrigung wäre auf der Erde nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht bedeutend geringer wäre.

Die Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung iſt eine Folge davon, daß die Körper auf der Erdoberfläche gegen dieſen kalten Weltraum ausſtrahlen. Um die Geſetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Inſtrument conſtruirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 422 dargeſtellt iſt. Es beſteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in ſolcher Weiſe angebracht iſt, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieſer Apparat in einer heiteren Nacht in's Freie geſtellt wird, ſo muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft ſinken. Die folgende Tabelle enthält einige Reſultate, welche Pouillet mit dieſem Inſtrumente erhalten hat.

Fig. 422.



Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterſchiede	Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterſchiede
		Vom 20. bis 21. April					Vom 5. bis 6. Mai		
20. April	8 U. Abds.	5.6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 U. Abds.	25.5	19.9	5,6
	9	4.5	— 2,0	6,5		6	25.1	17.5	7,6
	10	3.6	— 3,0	6,6		7	23.1	15.0	8,1
21. »	4½ Morg.	0.0	— 7,0	7,0		8	22.9	13.9	9,0
	5	0.0	— 7,0	7,0		9	21.5	12.5	9,0
	5½	0.1	— 6,5	6,6		10	17.5	10	7,5
					6. »	4 U. Morg.	12,1	5	7,1
						4½	12,1	5	7,1
						5	12	6	6,0

Dieſe Verſuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers faſt in derſelben Weiſe abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß alſo bei niedriger Lufttemperatur eine eben ſo ſtarke Strahlung gegen den Himmelsraum ſtattfindet wie bei hoher. So fanden auch Wells und Daniell eine durch die nächtliche Strahlung bewirkte Temperaturerniedrigung von 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft; Wilſon beobachtete einen Unterſchied von faſt 9° zwiſchen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Luft, Scoresby und Parry haben in den Polargegenden ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° gemacht. Dies beweiſ't nun, daß die Temperatur des Weltraums ſehr gering ſeyn muß, denn ſonſt müßte der Einfluß der nächtlichen Strahlung bei niedriger Temperatur geringer ſeyn als bei hoher.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° beſtimmt; da jedoch die Schlüſſe, durch welche er zu dieſem Reſultate gelangte, ſehr gewagt ſind; da ihre Grundlage höchſt unſicher iſt, ſo mag hier die Anführung dieſes Reſultates genügen.

Zweites Kapitel.

Vom atmoſphäriſchen Druck.

196 **Correctionen der Barometerbeobachtungen.** Wir haben ſchon früher bei der Lehre vom Barometer geſehen, daß die Luft in Folge ihrer Schwere auf alle Gegenſtände der Erdoberfläche drückt, welche gleichſam den Grund, den Boden dieſes Luftmeeres bildet; wir haben auch geſehen, daß man die Größe dieſes Luftdruckes mit Hülfe des Barometers meſſen kann, daß uns das Barometer angiebt, wie hoch eine Queckſilberſäule iſt, welche dem atmoſphäriſchen Drucke das Gleichgewicht hält.

Da das Queckſilber ſich ausdehnt, wenn es erwärmt wird, da alſo ſeine Dichtigkeit um ſo geringer wird, je mehr ſeine Temperatur ſteigt, ſo iſt klar, daß zwei Queckſilberſäulen von ungleicher Temperatur auch ungleiche Höhe haben müſſen, wenn ſie ſich einander das Gleichgewicht halten ſollen, daß derſelbe Luftdruck eine höhere Säule von warmem als von kaltem Queckſilber tragen kann; wenn uns alſo die Höhe der Barometerſäule ein richtiges Maaß des Luftdruckes geben ſoll, ſo müſſen wir die Temperatur des Queckſilbers kennen, und um verſchiedene Barometerbeobachtungen vergleichen zu können, müſſen wir ſie immer auf dieſelbe Temperatur reduciren.

Um die verſchiedenen Barometerbeobachtungen vergleichbar zu machen, iſt man überein gekommen, die Höhe der Barometerhöhe ſtets auf 0° zu reduciren, d. h. nach der beobachteten Höhe des Barometers und der Temperatur des Queckſilbers zu berechnen, welches die Barometerhöhe geweſen ſeyn würde, wenn das Queckſilber die Temperatur von 0° gehabt hätte.

Bei einer Temperaturerhöhung von 1° C. dehnt ſich das Queckſilber um 0,00018 ſeines Volumens bei 0° aus; bei einer Temperatur von t Graden iſt es alſo $1 + 0{,}00018\,t$mal leichter als bei 0°; eine Queckſilberſäule von $t°$, welche die Höhe h hat, wird demnach einer Queckſilberſäule von 0° und der Höhe $\frac{h}{1 + 0{,}00018t}$ das Gleichgewicht halten; wenn man alſo bei einer Temperatur von $t°$ das Barometer beobachtet hat, ſo reducirt man den beobachteten Barometerſtand auf 0°, wenn man ihn durch $1 + 0{,}00018t$ dividirt.

Hätte man z. B. bei einer Temperatur von 20° eine Barometerhöhe von 764,4^{mm} beobachtet, ſo würde bei unverändertem Luftdrucke und einer Temperatur von 0° die Höhe der Queckſilberſäule nur $\frac{764{,}4}{1{,}0036} = 761{,}65^{mm}$ betragen. Wenn alſo ein Barometer in einem Zimmer, deſſen Temperatur 0° iſt, auf 761,65^{mm} ſteht, ſo würde man gleichzeitig an demſelben Barometer in einem geheizten Zimmer, deſſen Temperatur 20° iſt, 764,4^{mm} ableſen.

Wir haben bisher die Ausdehnung der Scala, auf welcher man die Barometerhöhe ablieſ't, ganz unberückſichtigt gelaſſen. Wäre dieſe Scala aus einem Material verfertigt, welches ſich in demſelben Verhältniſſe ausdehnt wie das Queckſilber, ſo wäre die Ausdehnung des Queckſilbers durch die der Scala von ſelbſt corrigirt worden; da ſich jedoch die Scala weit weniger ausdehnt als das Queckſilber, ſo muß man ihre Ausdehnung noch beſonders in Rechnung bringen. Wenn die Barometerſcala auf Glas geätzt iſt, ſo kann man ihre Ausdehnung unberückſichtigt laſſen, bei einer meſſingenen Scala darf ſie jedoch nicht vernachläſſigt werden. Um weitläufige Reductionsrechnungen zu vermeiden, hat man Tabellen berechnet, mit Hülfe deren die Reduction jederzeit leicht ausführbar iſt. Die folgende Reductionstabelle iſt von Deleros für den Fall berechnet, daß die Theilung auf Meſſing gemacht iſt.

Barometerhöhe.	Ausdehnung der Queckſilber-Säule.								
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
600	0,097	0,194	0,290	0,387	0,484	0,581	0,678	0,775	0,872
05	0,098	0,195	0,293	0,391	0,488	0,586	0,683	0,781	0,879
10	0,098	0,197	0,295	0,394	0,492	0,591	0,689	0,788	0,886
15	0,099	0,198	0,298	0,397	0,496	0,596	0,695	0,794	0,893
20	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,901
25	0,101	0,202	0,303	0,403	0,504	0,605	0,706	0,807	0,908
30	0,102	0,203	0,305	0,407	0,508	0,610	0,712	0,813	0,915
35	0,102	0,205	0,307	0,410	0,512	0,615	0,717	0,820	0,922
40	0,103	0,207	0,310	0,413	0,516	0,620	0,723	0,826	0,930
45	0,104	0,208	0,312	0,416	0,520	0,625	0,729	0,833	0,937
50	0,105	0,210	0,315	0,420	0,524	0,629	0,734	0,839	0,944
55	0,106	0,211	0,317	0,423	0,529	0,634	0,740	0,846	0,951
60	0,106	0,213	0,320	0,426	0,533	0,639	0,746	0,852	0,959
65	0,107	0,215	0,322	0,429	0,537	0,644	0,751	0,859	0,966
70	0,108	0,216	0,324	0,433	0,541	0,649	0,757	0,865	0,973
75	0,109	0,218	0,327	0,436	0,545	0,654	0,763	0,871	0,980
80	0,110	0,219	0,329	0,439	0,549	0,658	0,768	0,878	0,988
85	0,111	0,221	0,332	0,442	0,553	0,663	0,774	0,884	0,995
90	0,111	0,223	0,334	0,445	0,557	0,668	0,780	0,891	1,002
95	0,112	0,223	0,336	0,449	0,561	0,673	0,785	0,897	1,010
700	0,113	0,226	0,339	0,452	0,565	0,678	0,791	0,904	1,017
05	0,113	0,228	0,341	0,455	0,569	0,683	0,797	0,910	1,024
10	0,115	0,229	0,344	0,458	0,573	0,688	0,802	0,917	1,031
15	0,115	0,231	0,346	0,462	0,577	0,691	0,808	0,923	1,039
20	0,116	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813	0,930	1,046
25	0,117	0,234	0,351	0,468	0,585	0,702	0,819	0,936	1,053
30	0,118	0,236	0,353	0,471	0,589	0,707	0,825	0,943	1,060
35	0,119	0,237	0,356	0,474	0,593	0,712	0,830	0,949	1,068
40	0,119	0,239	0,358	0,478	0,597	0,717	0,836	0,955	1,075
45	0,120	0,240	0,361	0,481	0,601	0,721	0,842	0,962	1,082
50	0,121	0,242	0,363	0,484	0,605	0,726	0,847	0,968	1,089
55	0,121	0,244	0,365	0,487	0,609	0,731	0,853	0,975	1,097
60	0,123	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,859	0,981	1,104
65	0,124	0,247	0,370	0,494	0,617	0,741	0,864	0,988	1,111
70	0,124	0,249	0,373	0,497	0,621	0,746	0,870	0,994	1,118
75	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,876	1,001	1,126
80	0,126	0,252	0,378	0,504	0,629	0,755	0,881	1,007	1,133
85	0,127	0,253	0,380	0,507	0,633	0,760	0,888	1,014	1,140
90	0,127	0,255	0,382	0,510	0,637	0,765	0,893	1,020	1,148
95	0,128	0,257	0,385	0,513	0,641	0,770	0,898	1,026	1,155
800	0,129	0,258	0,387	0,516	0,646	0,775	0,904	1,033	1,162

Der Gebrauch dieſer Tabelle iſt ganz einfach. Nehmen wir an, das Barometer ſtehe auf 750mm, das an demſelben befeſtigte Thermometer zeige aber eine Temperatur von 8°, ſo hat man 0,968 von 750 abzuziehen, die corrigirte Barometerhöhe iſt alſo 749,032mm. Wäre die beobachtete Barometerhöhe aber 745mm geweſen, ſo hat man von 745 abzuziehen:

für 20^0 $10 \times 0{,}240 = 2{,}4$
für 3^0 $0{,}361$
für $0{,}7^0$ $\frac{0{,}842}{10}$ $= 0{,}084$

zuſammen alſo 2,845.

Die corrigirte Barometerhöhe wäre demnach 743,155^{mm}.

Für Barometerhöhen, welche zwiſchen den von 5 zu 5 Millimetern fortſchreitenden Zahlen der erſten Columne liegen, kann man ohne merklichen Fehler die den verſchiedenen Temperaturen entſprechenden Zahlen der nächſt höheren Horizontalreihe nehmen. Wäre z. B. die Barometerhöhe 748, die Temperatur aber 9°, ſo hat man von 748 die Zahl 1,082 abzuziehen.

Wenn das am Barometer befeſtigte Thermometer unter 0° ſteht, ſo hat man die entſprechenden Zahlen nicht abzuziehen, ſondern zu addiren.

Eine zweite Correction iſt von allen Beobachtungen, welche an Gefäßbarometern angeſtellt worden ſind, wegen der Capillardepreſſion in der Röhre anzubringen. Die folgende Tabelle enthält die Werthe dieſer Depreſſion für Röhren von verſchiedenem Durchmeſſer.

Innerer Durchmeſſer der Röhre..	Depreſſion.	Differenzen.	Innerer Durchmeſſer der Röhre.	Depreſſion.	Differenzen.
mm	mm	mm	mm	mm	mm
21,00	0,028		11,50	0,293	
		0,004			0,037
20,50	0,032		11,00	0,330	
		0,004			0,042
20,00	0,036		10,50	0,372	
		0,005			0,047
19,50	0,041		10,00	0,419	
		0,006			0,054
19,00	0,047		9,50	0,473	
		0,006			0,061
18,50	0,053		9,00	0,534	
		0,007			0,070
18,00	0,060		8,50	0,604	
		0,008			0,080
17,50	0,068		8,00	0,684	
		0,009			0,091
17,00	0,077		7,50	0,775	
		0,010			0,102
16,50	0,087		7,00	0,877	
		0,012			0,118
16,00	0,099		6,50	0,995	
		0,013			0,141
15,50	0,112		6,00	1,136	
		0,015			0,170
15,00	0,127		5,50	1,306	
		0,016			0,201
14,50	0,143		5,00	1,507	
		0,018			0,245
14,00	0,161		4,50	1,752	
		0,020			0,301
13,50	0,181		4,00	2,053	
		0,023			0,362
13,00	0,204		3,50	2,415	
		0,026			0,487
12,50	0,230		3,00	2,902	
		0,030			0,692
12,00	0,260		2,50	3,595	
		0,033			0,985
11,50	0,293		2,00	4,579	

197 **Tägliche Variationen des Barometers.** Wenn man in unſeren Gegenden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, ſo ſind die oft ſehr bedeutenden Schwankungen ſo unregelmäßig, daß man auf den erſten Anblick durchaus keine periodiſchen Veränderungen wahrnehmen kann, während ſelbſt aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers ſich alsbald ſowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweiſen läßt.

Schon im erſten Bande iſt angeführt worden, daß in den Tropen die zufälligen Schwankungen des Barometers ungleich geringer ſind als in den höheren Breiten, daß dagegen zwiſchen den Wendekreiſen eine tägliche Periode der Barometerſchwankungen ſich entſchieden ausſpricht; hier reicht es hin, das Barometer nur einen oder zwei Tage lang zu beobachten, um die täglichen Variationen zu conſtatiren.

Es fragt ſich nun, ob in höheren Breiten wirklich gar keine periodiſchen Barometerſchwankungen ſtattfinden, oder ob ſie nur durch die weit bedeutenderen zufälligen Schwankungen maſkirt ſind. Um entſcheiden zu können, ob mitten in den beſtändig ſtattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers ſich nicht auch ein periodiſches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu beſtimmten Stunden des Tages angeſtellt worden ſind. Wenn man jedoch einen Monat lang das Barometer an mehreren beſtimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derſelben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, ſo reicht dies hin, um die Exiſtenz einer täglichen Periode der Barometerſchwankungen auch für unſere Gegenden zu beweiſen. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angeſtellten Reihe von Barometerbeobachtungen; ſie giebt die auf 0° reducirten Barometerſtände in Millimetern an. Die Beobachtungsſtunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Jahr.	Höchster Stand		Tiefster Stand		Mittlere Barometerstände				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	70,89	1. Jan.	38,00	1. März.	5.104	4,863	4,389	4,789	4,786
1820	72,60	9. »	26,33	24. »	6,077	5,838	5,352	5,712	5,745
1821	80,82	6. Febr.	15,54	24. Dec.	5,986	5,755	5,285	5,764	5,697
1822	75,93	27. »	34,60	2. »	7,437	7,158	6,591	7,020	7,052
1823	72,23	7. Dec.	22,34	2. Febr.	5,033	4,796	4,353	4,633	4,704
1824	73,24	27. Mai.	28,66	12. Oct.	5,817	5,567	5,072	5,385	5,460
1825	76,35	10. Jan.	26,82	10. Nov.	7,742	7,430	6,873	6,962	7,252
1826	74,79	17. »	31,53	13. »	7,367	7,047	6,509	6,868	6,948
1827	73,48	28. Dec.	33,50	4. März.	6,211	5,995	5,484	5,847	5,884
1828	71,10	12. »	30,54	21. Febr.	6,306	6,084	5,616	5,982	5,997
1829	73,46	3. Febr.	34,68	7. Oct.	5,377	5,107	4,641	5,145	5,068
1830	71,90	1. Jan.	29,42	9. Dec.	5,918	5,691	5,255	5,772	5,646
1831	72,40	8. »	33,80	30. April.	5,356	5,157	4,676	5,176	5,091
1832	71,02	4. April.	38,05	30. »	7,893	7,548	7,025	7,597	7,515
1833	74,04	8. Jan.	30,68	1. »	5,790	5,508	4,988	5,521	5,452
1834	72,00	27. Dec.	39,46	10. Jan.	9,014	8,650	8,073	8,690	8,607
1835	76,63	2. Jan.	30,16	10. Oct.	7,270	6,990	6,494	7,114	6,967
1836	75,81	2. »	24,00	28. März.	5,363	5,038	4,578	5,165	5,036
1837	72,41	14. Oct.	37,74	13. Sept.	6,686	6,381	5,861	6,360	6,322
1838	72,31	31. Dec.	28,88	25. Febr.	4,679	4,365	3,896	4,355	4,324
1839	71,53	1. Jan.	35,77	20. »	5,386	5,102	4,631	5,048	5,041
1840	72,37	11. »	31,70	4. »	6,492	6,135	5,628	6,198	6,113
Mittel	73,51	14. Jan.	31,01	19. Jan.	6,287	6,009	5,512	5,957	5,941

Die erſte Columne dieſer Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchſten und tiefſten Barometerſtandes, und zwar iſt hier der Abkürzung wegen 700, bei den mittleren Barometerſtänden aber 750 weggelaſſen; ſo ſteht z. B. in der Columne »höchſter Stand« bei 1835 die Zahl 76,63, der höchſte im Jahre 1835 beobachtete Barometerſtand war alſo 776,63 Millimeter. Die für eine jede Beobachtung angegebenen Mittelzahlen ſind das Mittel aus allen zu dieſer Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; ſo iſt z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerſtänden.

Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß die für die verſchiedenen Beobachtungsſtunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich ſind; ſie haben durchgängig den höchſten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigſten um 3 Uhr Nachmittags; es ſpricht ſich darin entſchieden ein periodiſches Sinken und Steigen aus; die nicht periodiſchen Schwankungen unberückſichtigt gelaſſen, ſinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens, bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu ſteigen. Um 9 Uhr Morgens ſteht das Barometer im Durchſchnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodiſchen Schwankungen iſt dieſer Tabelle zufolge ſehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodiſchen Schwankungen, denn im Durchſchnitt iſt der höchſte Barometerſtand im Laufe eines Jahres 773,5^{mm}, der niedrigſte 731^{mm}, ihre Differenz alſo 42,5^{mm}, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775^{mm} beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerſchwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigſtens bei Tage ſtündlich das Barometer beobachtet werden. Die meiſten Beobachtungsreihen dieſer Art ſind jedoch des Nachts nicht fortgeſetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht ſchließen.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate ſolcher Beobachtungsreihen, welche an verſchiedenen Orten angeſtellt wurden.

Orte	gr. Ocean	Cumana	La Guayra	Calcutta	Padua	Halle	Abo	Petersburg
Entfernung vom Aequator	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter	Horner	Humboldt	Bouffignault	Balfour	Ciminello	Kämtz	Hallström	Kupffer
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	»
2	751,77	756,21	759,05	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	748,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	751,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieſer Tabelle iſt in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anſchaulich gemacht.

Fig. 423.

Cumana.

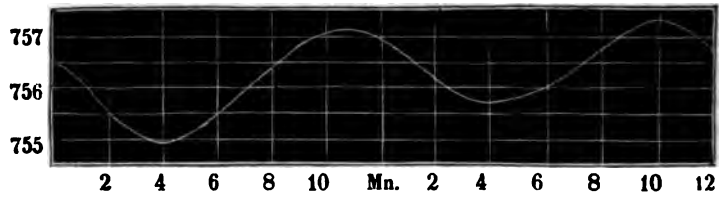


Fig 424.

Calcutta.

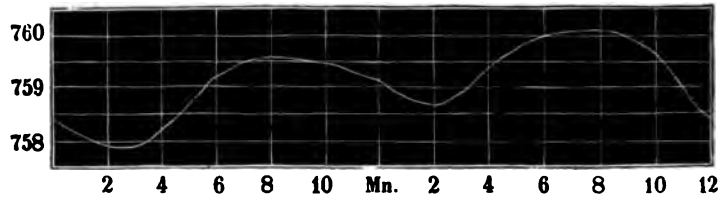


Fig. 425.

Padua.

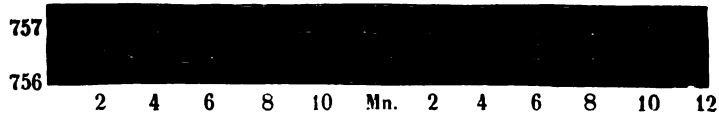
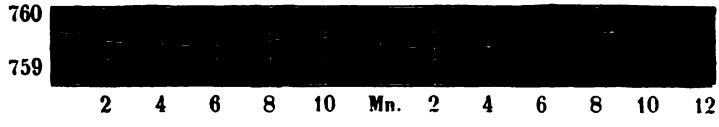


Fig. 426.

Petersburg.



Die Zeit iſt zur Abſciſſe genommen, der Maßſtab der Ordinaten aber iſt vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in

höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt ½ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar . . .	2,81h. A.	9,17h. A.	4,91h. M.	9,91h. M.
Februar . . .	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September . .	4,55	10,45	3,45	9,71
October . . .	4,17	10,24	3,97	10,07
November . .	3,52	9,85	4,68	10,08
December . .	3,15	9,11	3,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Wenn die Wendestunden nicht für alle Orte genau dieselben sind, so rührt vielleicht der Unterschied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgesetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags 4 Uhr 5 Minuten.
Maximum des Abends . . . 10 » 11 »
Minimum des Morgens . . 3 » 45 »
Maximum des Morgens . . 9 » 37 »

Fig. 427.

Calcutta.

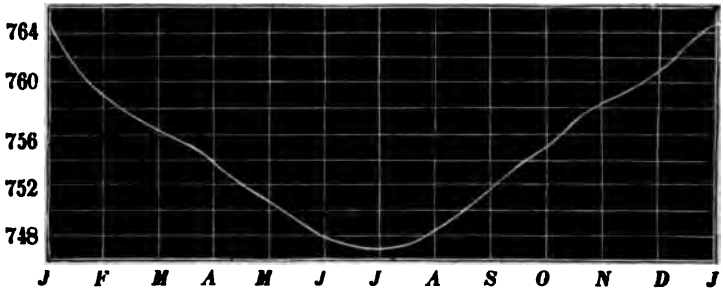


Fig. 428.

Macao.

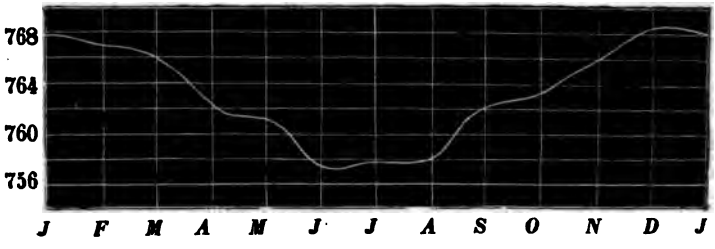


Fig. 429.

Paris.

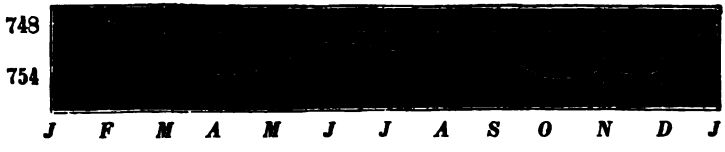
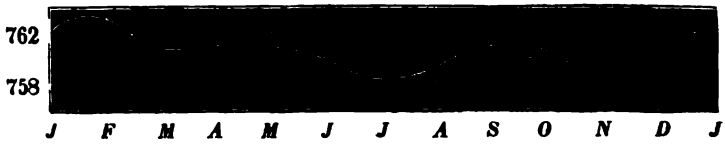


Fig. 430.

Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerſtandes im Laufe eines Jahres anſchaulicher zu machen, folgt hierbei die graphiſche Darſtellung derſelben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entſpricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in verticaler Richtung iſt alſo der Maßſtab dieſer Figuren 4mal kleiner als der Maßſtab der Figuren auf Seite 558.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angeſtellt hat, ſpricht ſich die jährliche Periode am entſchiedenſten aus. Im Januar iſt der mittlere Barometerſtand am höchſten, er ſinkt beſtändig bis zum Juli, wo er ſein Minimum erreicht, und ſteigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika ſcheint dieſe Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu ſeyn.

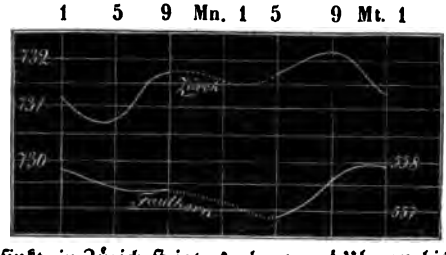
Auch in höheren Breiten iſt der mittlere Barometerſtand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, außerdem aber iſt in größerer Entfernung vom Aequator der periodiſche Gang des mittleren Barometerſtandes im Laufe des Jahres nicht ſo regelmäßig, wie man ſowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren ſehen kann.

Einfluß der Höhe über dem Meeresſpiegel auf die periodiſchen Schwankungen des Barometers. Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, ſo werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftſäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer ſeyn müſſen als in der Tiefe, und es läßt ſich erwarten, daß in gewiſſen Höhen über dem Meeresſpiegel die Veränderungen des Luftdrucks ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen ſolchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angeſtellt hat und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerſtänden der verſchiedenen Tagesſtunden zu Zürich zuſammengeſtellt ſind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens ſind durch Interpolation beſtimmt. 199

Stunden.	Zürich	Rigi	Unterschiede	Zürich	Faulhorn	Unterschiede
	mm 720+	mm 610+	mm 100+	mm 730+	mm 550+	mm 170+
Mittag	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,44	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10 28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56mm, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09mm ist. Außer der Größe der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine große Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 431 übersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Kurven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Kurve. Man sieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt, in Zürich steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 9 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken in den Abendstunden kaum merklich unterbrochen ist und dann bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also das zweimalige Sinken und Steigen im Laufe des Tages fast verschwunden, es ist nur ein entschiedenes Maximum und nur ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

Fig. 431.



Mittlere monatliche Schwankungen. Es ist bereits erwähnt wor- 200
den, daß in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen nicht periodischen maskirt sind, daß man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derselben kennen lernen.

Nach dem vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittel für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel.
Januar . . .	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December . .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man übersieht aus dieser Tabelle, daß die Größe der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich übersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monatlichen Schwankungen, denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98‴
Tivoli (St. Domingo) .	18	35	N.	4,11
Havanna	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira) . .	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakuzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador) . . .	57	8		32,35
Chriſtiania	59	55		33,05
Naes (Island) . . .	64	30		35,91.

Die nicht periodiſchen Barometerſchwankungen ſind alſo nicht allein im Winter größer als im Sommer, ſondern ſie ſind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h., ſie nehmen im Allgemeinen um ſo mehr zu, je weiter man ſich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerſchwankungen dieſelbe iſt, heißen iſobarometriſche Linien.

Wir können hier den Lauf der iſobarometriſchen Linien nicht weiter verfolgen und müſſen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beſchränken. Aus der eben mittgetheilten Tabelle erſieht man, daß die iſobarometriſchen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreiſen zuſammenfallen. Calcutta und Havanna liegen nahe in gleicher Breite, und doch ſind die Barometerſchwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Oſtküſte von Nordamerika ſind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Weſtküſten von Europa, ſie ſind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin faſt gleich, die iſobarometriſchen Linien ſteigen alſo von den Oſtküſten Nordamerika's nach Europa und entfernen ſich dann

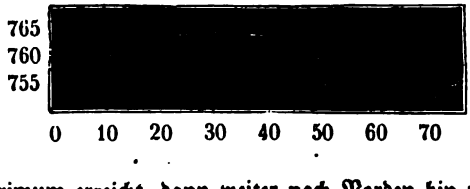
um so weiter vom Aequator, je weiter man in's Innere des Continents der alten Welt kommt.

Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres. Man glaubte 201
früher, daß der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sey; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener am Meere gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung	33°	S.	763,01mm
Rio Janeiro	23		764,03
Christianborg	5°	30′ N.	760,10.
St. Thomas	19		760,51
Macao	33		762,99
Madeira	32	30	765,18
Neapel	41		762,95
Paris	49		761,41
Edinburg	56		758,25
Reikiavig	64		752,00
Spitzbergen	75	30	756,76.

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 432 auch graphisch dargestellt ist, daß der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, daß er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

Fig. 432.



Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller Baro- 202
meterschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht derzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen seyn, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Tem-

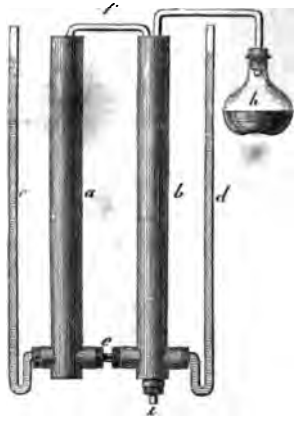
peratur ſo wenig veränderlich iſt, auch am unbedeutendſten ſind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da iſt auch die Amplitude der zufälligen Barometerſchwankungen ſehr groß, ja ſelbſt im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich iſt, ſind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweiſen kann, daß die ungleiche und ſtets ſich ändernde Erwärmung der Luft beſtändige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, ſo ſind wir doch noch weit davon entfernt, alle einzelnen hierher gehörigen Erſcheinungen genügend erklären zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, ſo dehnt ſie ſich aus, die Luftſäule erhebt ſich über die Luftmaſſe, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe geſtiegene Luft wird alſo oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß alſo an den wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daſelbſt ſinken müſſen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer ſteigen, weil ſich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden ſeitwärts abfließende Luft über die Atmoſphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es läßt ſich dies durch den Apparat Fig. 433 anſchaulich machen.

Fig. 433.



a und *b* ſind Blechröhren von 1½ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden ſind. Mit der Blechröhre *a* iſt die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* iſt die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Waſſer gießt, ſo wird daſſelbe nur langſam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* faſt bis oben füllt uud ſie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung ſetzt, ſo muß ſich das Waſſer in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch ſtellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelſt einer Weingeiſtlampe entwickelten Waſſerdämpfe hindurchgeleitet werden. In unſerer Figur iſt der Kolben *h* neben die Röhre *d*

gezeichnet worden, es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *d* sich befindet.

Da das Rohr *gi* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne daß das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; weil aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fließt nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maaße, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fließt, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fließen würde, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellt; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht, die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Hitze haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe seyn sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kaltem dagegen steigen.

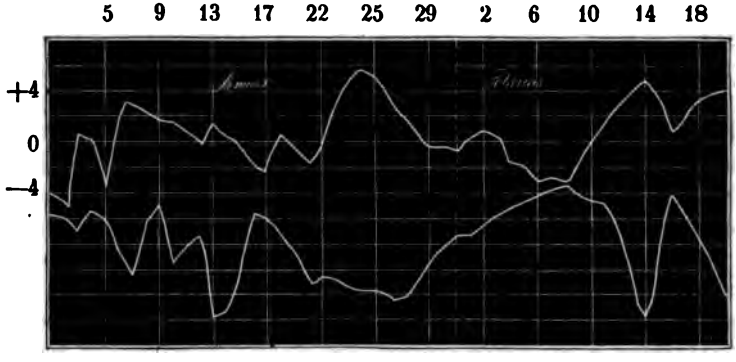
In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, daß der mittlere Barometerstand am

Meere zwiſchen dem 60. und 70. Breitengrade ſo gering iſt; die Luft, welche von ſüdlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Waſſergehalt, der Druck, den ſie ausübt, muß alſo nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Anſicht iſt das Sinken des Barometers eine Erſcheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlaſſen; im Allgemeinen wird alſo das Thermometer ſteigen, wenn das Barometer fällt. Dies iſt auch in der That der Fall, und zwar tritt dieſer Gegenſatz im Gange der beiden Inſtrumente am deutlichſten im Winter auf. Die beiſtehende Figur, welche

Fig. 434.



den Beobachtungen des phyſikaliſchen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen iſt, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur und des mittleren täglichen Barometerſtandes daſelbſt vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man ſieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich ſteigt, wenn das Thermometer fällt, und daß ein barometriſches Minimum meiſtens mit einem thermometriſchen Maximum zuſammenfällt.

Die Verſuchsreihen anderer Jahre und anderer Orte geben daſſelbe Reſultat.

Wenn dieſer Gegenſatz im Sommer nicht ſo rein auftritt, ſo iſt der Grund davon darin zu ſuchen, daß die an ſich warmen Südweſtwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn ſie wehen, der Himmel meiſtens bewölkt iſt und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenſtrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordoſtwinde dadurch neutraliſirt wird, daß ſich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenſtrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerſchwankungen im Sommer zuſammen.

Da die Südweſtwinde, welche in unſeren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regneriſches

Wetter bringen, während das Barometer ſteigt, wenn Nordoſtwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, ſo kann man allerdings ſagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerſtand ſchönes Wetter, ein tiefer aber ſchlechtes Wetter anzeigt. Dies iſt aber, wie geſagt, nur eine Durchſchnittsregel, denn bei Nordoſtwind iſt der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südweſtwind auch manchmal heiter; ſie iſt jedoch in derſelben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordoſtwind das Barometer hoch, bei Südweſtwind dagegen tief ſteht; dies iſt auch nicht immer, ſondern nur im Durchſchnitte wahr. Wir können uns von ſolchen Anomalien keine Rechenſchaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt ſind, welche den Gleichgewichtszuſtand der Atmoſphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerſtand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, iſt auch nur für ſolche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden ſind. An dem Ausfluſſe des La Plataſtromes z. B. ſind es die kalten Südoſtwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer ſteigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordweſtwinde aber, bei welchen das Barometer ſinkt, ſind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umſtande, daß hier der Regen durch kalte Winde gebracht wird, iſt die geringere Regenmenge dieſer Gegenden zuzuſchreiben, während unter gleicher Breite an den Weſtküſten von Südamerika ſehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordweſtwind zugleich ein Seewind iſt.

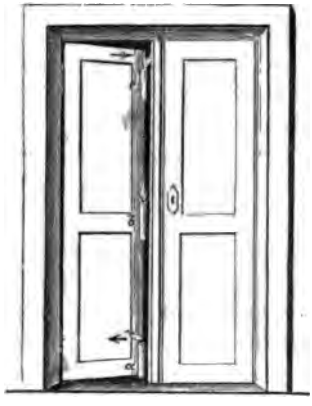
Die tägliche Periode der Barometerſchwankungen iſt weſentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszuſtande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf dieſen Gegenſtand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Waſſergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Drittes Kapitel.

Von den Winden.

203 **Entſtehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einem kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 435 ſieht, ſo zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftſtrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, ſo ſtellt ſich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung ſteht ſie ganz ſtill, ſie iſt hier nicht durch Luftſtrömungen afficirt; bringt man ſie aber noch weiter herunter, ſo wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man ſieht alſo, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einſtrömt.

Fig. 435.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftſtrömungen veranlaßt, ſo iſt auch die ungleiche ſtets wechſelnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr ſchwebenden Luftmeeres die Urſache der Luftſtrömungen, die wir **Winde** nennen. Auch im Großen ſieht man die Luft in den ſtärker erwärmten Gegenden aufſteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuſtrömt.

Ein einfaches Beiſpiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküſten, namentlich aber auf den Inſeln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt ſich ein von dem Meere nach der Küſte gerichteter Wind, der **Seewind**, weil das feſte Land unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen ſtärker erwärmt wird als das Meer, über dem Lande ſteigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küſten ſtrömt. Dieſer Seewind iſt anfangs ſchwach und nur an den Küſten ſelbſt fühlbar, ſpäter nimmt er zu und zeigt ſich dann auch auf dem Meere ſchon in größerer Entfernung von der Küſte; zwiſchen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am ſtärkſten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine

Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 400 Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an den verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über dem Gebäude, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch Gebirge lokale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

204 **Paſſatwinde und Monſoons.** Als Columbus auf ſeiner Entdeckungsreiſe nach Amerika ſeine Schiffe durch einen beſtändigen Oſtwind fortgetrieben ſah, wurden ſeine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil ſie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieſer in den Tropen beſtändig von Oſten nach Weſten wehende Wind, welcher ſo ſehr das Erſtaunen der erſten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, iſt der Paſſatwind. Die Schiffer benutzen dieſen Wind, um von Europa nach Amerika zu ſegeln, indem ſie von Madeira aus ſüdlich bis in die Nähe des Wendekreiſes ſteuern, wo ſie dann durch den Paſſat nach Weſten getrieben werden. Dieſe Reiſe iſt ſo ſicher und die Arbeit der Matroſen dabei ſo gering, daß die ſpaniſchen Seeleute dieſen Theil des atlantiſchen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südſee weht dieſer Wind, die ſpaniſchen Schiffer ließen ſich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantiſchen Ocean erſtreckt ſich der Paſſatwind bis zum 28.—30. Grade, im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone iſt die Richtung des Paſſatwindes eine nordöſtliche; je mehr er ſich aber dem Aequator nähert, deſto mehr wird ſeine Richtung rein öſtlich. Die Gränze des Paſſats iſt in der ſüdlichen Halbkugel weniger genau beſtimmt, dort aber hat der Paſſat eine ſüdöſtliche Richtung, die mehr und mehr öſtlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Dieſe Winde wehen rund um die ganze Erde, doch ſind ſie in der Regel erſt 50 Meilen weit vom feſten Lande entſchieden merklich.

Da, wo der Nordpaſſat der nördlichen und der Südoſtpaſſat der ſüdlichen Hemiſphäre zuſammentreffen, combiniren ſie ſich zu einem rein öſtlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intenſität der Sonnenſtrahlen ſtark erwärmten und deshalb mächtig aufſteigenden Luft eben durch dieſe verticale Bewegung neutraliſirt wird. Es würde in dieſen Gegenden eine faſt vollkommene Windſtille herrſchen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die faſt täglich unter Donner und Blitz ſtattfindenden Regengüſſe begleiten, die Ruhe der Atmoſphäre ſtörten und das Wehen ſanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Paſſatwinde der beiden Hemiſphären trennt, iſt die Region der Calmen.

Das Kärtchen Fig. 436 (a. f. S.), dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Paſſatwinde herrſchen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchſchnitte eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten ſollte, mit dem Aequator zuſammen, ſondern ſie liegt nördlich von demſelben. Während unſerer Sommermonate iſt der Gür-

tel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Fig. 436.

Die Ursache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so langt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat sie also eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passates ist natürlich der des unteren gerade ent-

gegengeſetzt, ſie iſt in der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, in der ſüdlichen Halbkugel eine nordweſtliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Paſſat weht, welcher dem unteren entgegengeſetzt iſt, läßt ſich durch Thatſachen beweiſen; ſo wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Coſiguina im Staate Guatimala die Aſche bis in die Höhe des oberen Paſſates geſchleudert, der ſie in ſüdweſtlicher Richtung fortführte, ſo daß ſie auf der Inſel Jamaika niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordoſtpaſſat herrſchte.

In größerer Entfernung vom Aequator ſenkt ſich der obere Paſſat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrſchen faſt immer Weſtwinde, während am Meeresſpiegel der untere Paſſat weht.

Im indiſchen Ocean iſt die Regelmäßigkeit der Paſſatwinde durch die Configuration der Ländermaſſen, welche dieſes Meer umgeben, namentlich aber durch den aſiatiſchen Continent, geſtört. Im ſüdlichen Theile des indiſchen Oceans, zwiſchen Neuholland und Madagaskar, herrſcht noch das ganze Jahr hindurch der Südoſtpaſſat, in dem nördlichen Theile dieſes Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beſtändiger Südweſt-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beſtändiger Nordoſtwind. Dieſe regelmäßig abwechſelnden Winde werden Mouſſons genannt.

Der Südweſtwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordoſtwind.

Während in den Wintermonaten der aſiatiſche Continent erkaltet, die Sonne aber in ſüdlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordoſtpaſſat von dem kälteren Aſien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieſer Zeit iſt auch im indiſchen Ocean der Nordoſtpaſſat von dem Südoſtpaſſat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südoſtpaſſats wird zwiſchen Neuholland und Madagaskar nicht geſtört, in den nördlichen Theilen des indiſchen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordoſtwind geherrſcht hatte, wird dieſer in einen Südweſtwind verwandelt, weil ſich nun der aſiatiſche Continent ſo ſtark erwärmt und alſo eine Luftſtrömung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südweſtwind verwandelt wird.

205 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Paſſat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, ſenkt ſich, wie ſchon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südweſtwind den Boden; außerhalb der Region der Paſſatwinde gehen daher die beiden Luftſtrömungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequa-

tor zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen, bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Ueberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

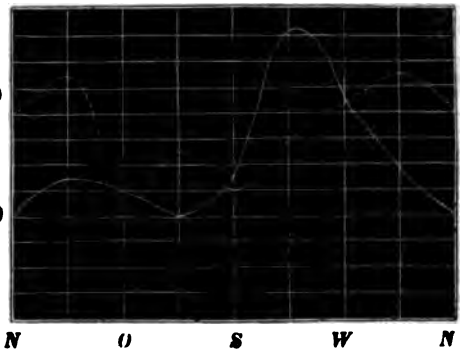
Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.
England . .	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark . .	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden . .	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland . . .	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen, besonders ist dies in England der Fall, in Rußland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend. Diese Unterschiede zwischen der vorherrschenden Windrichtung in England und Rußland sind in Fig. 437 noch anschaulicher gemacht. Die Ordinaten

Fig. 437.



der ausgezogenen Kurve in den mit *N*, *O*, *S* und *W* bezeichneten Punkten ſind der Anzahl der Tage proportional, an welchen in England im Durchſchnitt unter je tauſend Tagen der Nord-, der Oſt-, der Süd- und der Weſtwind herrſcht; ebenſo ſind die zwiſchen dieſen in der Mitte liegenden Ordinaten der Anzahl der Tage proportional, an welchen die Zwiſchenwinde beobachtet werden. Auf dieſelbe Weiſe iſt die punktirte Kurve für die ruſſiſchen Windverhältniſſe conſtruirt.

Der Südweſtwind, welcher im weſtlichen Europa vorherrſcht, iſt auch auf dem atlantiſchen Oceane zwiſchen Europa und Nordamerika der herrſchende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwiſchen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchſchnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im weſtlichen Europa vorherrſchenden Südweſtſtrome, welcher über die warmen Gewäſſer des atlantiſchen Oceans geſtrichen iſt und ſich dadurch mit Waſſerdämpfen beladen hat, verdankt dieſes Land ſein Küſtenklima. Selbſt im weſtlichen Europa tritt der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in ſolchen Jahren entſchiedener auf, in welchen der Südweſtwind häufiger weht; in ſolchen Jahren hingegen, in welchen die nordöſtliche Strömung länger herrſcht als gewöhnlich, nähert ſich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordoſt-, Oſt- und Südoſtwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieſes Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmſten Monats war nur 15,6, die des kälteſten 2,6°. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die *N*, *NO*, *O* und *SO* Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in dieſem Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmſten Monats war 21,2°, die des kälteſten — 1,7°. Das Jahr 1825 war alſo trockener, ſein Sommer heißer, und ſein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewiſſen Gegenden der nördlichen Hemiſphäre die Südweſtwinde die herrſchenden ſind, ſo ſollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoſtſtrom vorherrſchen müſſe, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß; Dove meint, daß die Krümmung der Iſothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwiſchenliegenden Oceane aber zwei ſüdliche, die ſich eine gewiſſe Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Exiſtenz eines vorherrſchenden Nordoſtſtroms im Inneren der Continente iſt jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That

zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen, es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Betrach- 206
tung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu seyn scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Queckſilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie

es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt:

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

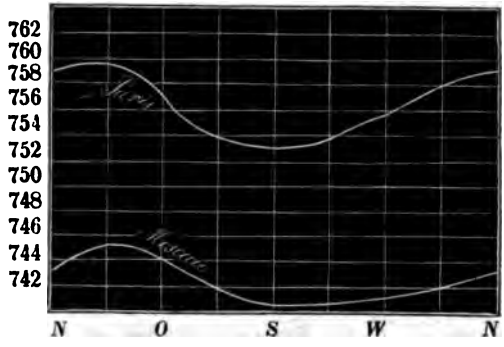
207 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon

mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Queckſilberſäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europa's an.

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau.
N	759,20	759,09	758,68	743,07
N O	760,71	759,49	759,36	745,06
O	758,93	757,24	758,77	743,90
S O	756,83	754,03	754,69	741,74
S	754,37	753,15	751,33	740,63
S W	755,25	753,52	752,57	740,34
W	757,28	755,57	756,00	741,06
N W	758,03	757,78	756,62	741,76

Nach dieſer Tabelle ſind die Kurven Fig. 438 für Paris und Moskau

Fig. 438.



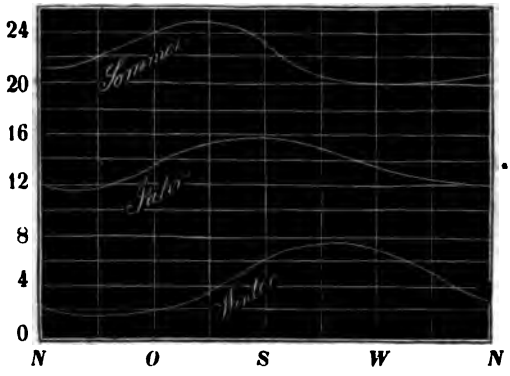
conſtruirt. Man ſieht, daß in der That den Nordoſtwinden der höchſte, den Süd- und Südweſtwinden der niedrigſte Barometerſtand entſpricht.

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derſelbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieſes Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
N	12,03	9,88	8,00	1,21
N O	11,76	8,30	7,63	1,44
O	13,50	8,51	8,38	3,53
S O	15,25	12,20	9,50	4,63
S	15,43	12,61	10,00	5,96
S W	14,93	11,00	10,13	5,69
W	13,64	12,20	9,25	5,49
N W	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieſer Tabelle iſt für Paris die mittlere der drei Kurven in Fig. 439 conſtruirt. Man ſieht, wie für Paris, ſowie für die anderen ange-

Fig. 439.



führten Orte die Temperatur der Luft im Durchſchnitt für die nördlichen Winde niedriger iſt als für die ſüdlichen. Die obere der drei Kurven zeigt, wie ſich im Durchſchnitt die mittlere Temperatur zu Paris im Sommer mit der Windrichtung ändert. Während dieſer Jahreszeit bringen die Südweſt-, Weſt- und Nordweſtwinde die niedrigſte Temperatur, weil ſie von einem bedeckten Himmel begleitet ſind, welcher die Erwärmung des Bodens hindert, die Südoſtwinde bringen dagegen im Sommer die größte Wärme. Im Winter iſt es, wie die untere Kurve zeigt, am kälteſten, wenn Nord-, Nordoſt- und Oſtwinde wehen, weil ſie an und für ſich von kälteren Ländern kommen und weil ſie den Himmel heiter machen, wodurch die nächtliche Wärmeſtrahlung befördert wird; wogegen die Erwärmung durch die Sonnenſtrahlen während des kurzen Tages nur unbedeutend iſt; die Süd-, Südweſt- und Weſtwinde hingegen ſind an und für ſich wärmer und hindern die nächtliche Strahlung, da ſie den Himmel bedeckt machen.

208 **Stürme.** Die Stürme ſind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmoſphäre und höchſt wahrſcheinlich rührt dieſe Störung von einer raſchen Condenſation der Waſſerdämpfe her, wie dies ſchon oben angedeutet wurde. Nach der Anſicht von Brandes entſtehen die Stürme dadurch, daß die Luft mit Gewalt von allen Seiten dem Orte der Verdünnung zuſtrömt, während das Minimum des Luftdrucks ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung hat. Auf dieſe Weiſe erklärt es ſich, daß das Barometer bei Stürmen ſo tief ſinkt. Dieſe Anſicht hat auch in Amerika an Espy einen Vertheidiger gefunden.

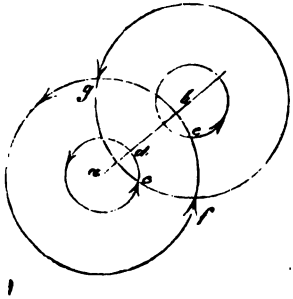
Gegen dieſe Theorie hat Dove eingewendet, daß die Richtung des Windes, wie man ſie zu beiden Seiten der Linie, nach welcher das Mi-

nimum des Luftdrucks fortrückt, vor, während und nach dem Sturme beobachtet, nicht ganz mit dieſer Anſicht übereinſtimmt. Während des Sturmes am 21. December 1821 ging die Linie des am meiſten verminderten Luftdrucks von Breſt nach der Südſpitze von Norwegen; zu Anfange des Sturmes hätte alſo von allen Seiten her der Wind nach Breſt hin blaſen, es hätte alſo in London zu Anfange des Sturmes ein Nordoſt-, in Paris ein Oſtwind wehen müſſen, während den Beobachtungen zufolge der Wind zu Anfange des Sturmes zu London ein Südoſt, in Paris ein Südwind war. Zu Ende des Sturmes hätte der Wind nach der Südſpitze von Norwegen hin wehen, er hätte alſo in London und Paris ein Südweſt ſeyn müſſen, während in der That an beiden Orten der Wind während des Sturmes durch Südweſt nach Weſt und Weſtnordweſt umſchlug.

Dove hat eine andere Theorie der Stürme aufgeſtellt, nach welcher ſie Wirbelwinde ſind, in denen die Luft nach einer beſtimmten Richtung rotirt, während dieſe Wirbel zugleich eine fortſchreitende Bewegung haben. Auf der nördlichen Hemiſphäre außerhalb der Tropen ſchreiten die Wirbel in ſüdweſtlicher Richtung voran, die Rotationsrichtung iſt aber *SONW.* Nach dieſer Theorie wäre bei dem erwähnten Sturme zu Anfange deſſelben Breſt, zu Ende deſſelben die Südſpitze von Norwegen der Mittelpunkt des Wirbels geweſen.

In Fig. 440 ſtelle *a b* die Linie vor, nach welcher das Minimum des Luftdrucks fortſchreitet; für den ſpeciellen Fall alſo, den wir eben betrachtet haben, wäre *a* etwa Breſt, *b* die Südſpitze von Norwegen. Die um *a* gezogenen Kreiſe ſtellen die Wirbel zu Anfang, die um *b* gezogenen aber zu Ende des Sturmes dar. Man ſieht, daß nach dieſer Theorie in der That ſüdöſtlich von der Linie *a b* ein Südoſt- oder Südwind wehen muß, z. B. in *d* und *e* Südoſt, in *c* und *f* Süd; zu Ende des Sturmes aber wird an dieſen Orten, wie man aus den um *b* gezogenen Kreiſen ſieht, der Wind eine weſtliche Richtung haben; der Wind ſchlägt alſo hier von Südoſt und Süd nach Weſt um. Auf der Nordweſtſeite der Linie *a b* ſchlägt der Wind in entgegengeſetzter Richtung um, er iſt z. B. in *g* zu Anfang des Sturmes ein Oſt-, zu Ende des Sturmes ein Nordwind.

Fig. 440.



Auf der ſüdlichen Halbkugel iſt die Rotationsrichtung der Wirbel die entgegengeſetzte, und außerhalb der Tropen ſchreiten ſie in nordweſtlicher Richtung vorwärts.

Innerhalb der Tropen iſt auf der nördlichen Halbkugel die Richtung der Stürme eine ſüdöſtliche, auf der ſüdlichen eine nordöſtliche; ſowie aber die Stürme die Gränze des Paſſats erreichen, biegen ſie um, indem ſie auf der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, auf der ſüdlichen eine nordöſtliche Richtung annehmen.

Die wirbelnde Bewegung leitet Dove daraus ab, daß eine durch irgend einen Impuls von dem Aequator nach einem Pole, etwa dem Nordpole, hingetriebene Luftmaſſe gegen ruhende Luft gleichſam anſtößt.

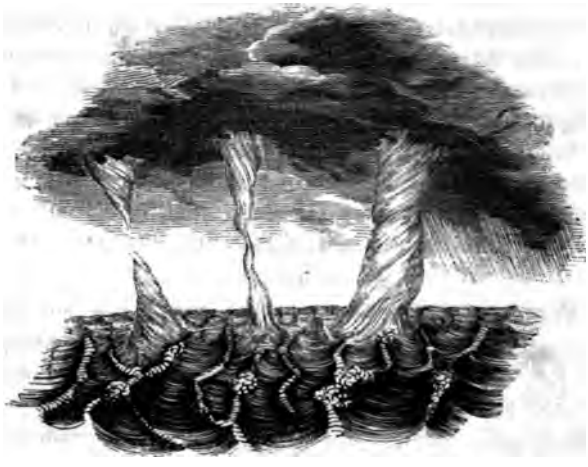
Die Dove'ſche Theorie ſtimmt, wie wir geſehen haben, ſehr gut mit der Erſcheinung überein, doch läßt ſich nicht leugnen, daß ſie wenigſtens in ihrer jetzigen Form noch Manches im Dunkel läßt. So ſpricht ſie ſich über die Urſache dieſer großen Aufregung der Atmoſphäre gar nicht aus, man ſieht auch nicht recht klar ein, in welchem Zuſammenhange die Wirbel mit der außerordentlichen Verminderung des Luftdrucks ſtehen, d. h. man begreift nicht recht, wie es kommt, daß, wenn eine Luftmaſſe durch irgend einen Impuls vom Aequator nach den Polen hin in Bewegung geſetzt wird und gegen eine ruhende Luftmaſſe ſtößt, eine ſo ſtarke Verminderung des Luftdrucks ſtattfinden kann.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerſtörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, ſind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 25. Juli Guadeloupe verwüſtete, ſolid gebaute Häuſer umgeriſſen; Kanonen wurden bis zur Brüſtung der Batterie, auf welcher ſie ſtanden, fortgeſchleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit ſolcher Geſchwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmeſſer hatte, durch und durch bohrte.

Oft ſieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herrannahenden Gewittern ſieht man ſchon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. ſ. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben ſind nichts Anderes als ſolche Wirbel in größerem Maßſtabe; ſie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengeſetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil deſſelben, deſſen Spitze herabgeſenkt iſt, beſteht aus einer Wolkenmaſſe, während der untere Kegel, deſſen Spitze nach oben gerichtet iſt, aus Waſſer beſteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüſſen ſich bildet, oder aus Sand und ſonſtigen feſten Körpern, wenn die Trombe über das Land herzieht. Solche Tromben ſind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuſer abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte

weit fortzuſchleudern u. ſ. w. Die Waſſertromben ſind unter dem Namen

Fig. 441.



der Waſſerhoſen bekannt; ſie heben das Waſſer oft bis zu einer Höhe von vielen hundert Fußen.

Viertes Kapitel.

Von der atmoſphäriſchen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Waſſerdampfes in der Luft. Wenn man an 209
einem heißen Sommertage eine mit Waſſer gefüllte Schale in's Freie ſtellt, ſo ſieht man die Quantität des Waſſers raſch abnehmen, es verdunſtet, das heißt: es geht in Dampfgeſtalt über und verbreitet ſich in der Luft. Der Waſſerdampf iſt wie jedes andere farbloſe durchſichtige Gas für unſere Blicke unſichtbar, das Waſſer ſcheint, indem es verdunſtet, gänzlich verſchwunden zu ſeyn.

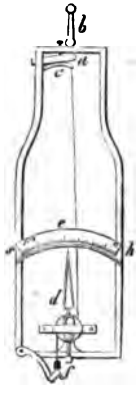
Das in der Luft verbreitete Waſſer wird erſt wieder ſichtbar, wenn es, in ſeinen flüſſigen Zuſtand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man ſich von der Exiſtenz des Waſſerdampfs in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weiſe verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem beſtimmten Volumen Luft enthaltenen Waſſerdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroſkopiſchen Subſtanzen gefülltes Rohr ſaugt. Um ein regelmäßiges Durchſtreichen der Luft durch das Abſorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aſpirator an. Es iſt dies im Weſentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verſchloſſenes mit Waſſer gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beſtändig Waſſer ab, die andere Oeffnung iſt mit dem Abſorptionsrohre in Verbindung, ſo daß hier eine dem ausfließenden Waſſer gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Waſſerdampf in der durch das Abſorptionsrohr geſaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt ſich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Verſuche wägt.

Die Beſtimmungsweiſe des Waſſergehaltes der Luft mit dem Aſpirator, dem man verſchiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, iſt allerdings etwas umſtändlich und giebt auch nicht den Waſſergehalt der Luft in einem beſtimmten Momente, ſondern den mittleren Waſſergehalt während der ganzen Dauer des Verſuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportabele Apparate conſtruirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt ſind.

Es iſt bekannt, daß viele organiſche Körper die Eigenſchaft haben, Waſſerdampf zu abſorbiren und ſich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen ſind auch Haare, Fiſchbein u. ſ. w. ſolche hygroſkopiſche Körper, und man benutzte ſie deshalb zur Conſtruction von Hygrometern. Das beſte Inſtrument der Art iſt das von Sauſſure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 442 abgebildet iſt.

Fig. 442.



Das Haar iſt mit ſeinem oberen Ende an einem Züngelchen *a* befeſtigt, das andere Ende aber iſt um eine mit zwei Rinnen verſehene Rolle geſchlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geſchlungen iſt, an welchem ein kleines Gewicht *f* hängt, durch welches das Haar beſtändig geſpannt erhalten wird. An der Axe der Rolle iſt ein Zeiger *d* befeſtigt, welcher auf dem Gradbogen *sh* hin- und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn ſich das Inſtrument in feuchter Luft befindet, ſo abſorbirt das Haar viel Waſſerdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es ſich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Spannkraft des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaßen: Er bestimmte zunächst die Spannkraft verschiedener Flüssigkeiten bei einer Temperatur von 10^0; alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Flüſſigkeit.	Specifiſches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Waſſerdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen ſich der Zeiger für die verſchiedenen Flüſſigkeiten einſtellte.
Waſſer	1,000	100,0	100,0
Löſung von ſalzſaurem Natron .	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Salzſaurer Kalk	1,274	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelſäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand alſo z. B., daß bei 10° die Dämpfe einer Auflöſung von ſalzſaurem Kalk, deren ſpecifiſches Gewicht 1,274 iſt, 66 Procent von der Spannkraft der Waſſerdämpfe ſind, welche bei derſelben Temperatur über reinem Waſſer ſich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieſer Löſung befeuchtet ſind, ſo ſtellt es ſich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilſtrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach dieſen Beobachtungen hat Gay-Luſſac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entſprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben hier dieſe Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entſprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0
10	4,57
20	9,45
30	14,78
40	20,78
50	27,79
60	36,28
70	47,19
80	61,22
90	79,09
100	100,00

Wenn alſo das Hygrometer auf 60° ſteht, ſo enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Waſſerdampfes, welchen ſie enthalten müßte, um geſättigt zu ſeyn.

Dieſe Tabelle iſt jedoch nur für Temperaturen ganz zuläſſig, welche nicht viel von 10° verſchieden ſind.

Regnault hat neuerdings auch Unterſuchungen über das Haarhygrometer angeſtellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, ſtatt ſie in einer Sodalöſung zu kochen, wie es Sauſſure angegeben hatte.

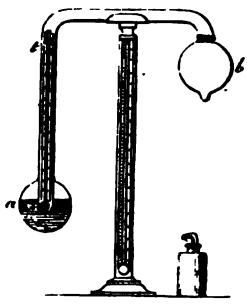
Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren conſtruirt, welche auf gleiche Weiſe entfettet wurden, zwar nicht ſtrenge übereinſtimmend gehen, daß ſie aber für die meiſten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verſchiedener Natur und verſchiedener Zubereitung ſehr große Unterſchiede in ihren Angaben zeigen können, ſelbſt wenn ſie an den Endpunkten mit einander ſtimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, ſondern daß man eigentlich für jedes Inſtrument der Art Verſuche in obiger Weiſe anſtellen und aus dieſen eine Tabelle berechnen müſſe.

Daniel's Hygrometer iſt Fig. 443 (a. f. S.) dargeſtellt; es beſteht aus 210
einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, iſt entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinſchicht überzogen, die andere iſt mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* iſt zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Ther-

mometer, deſſen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat iſt vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, ſo wird ſie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Inneren derſelben werden Aetherdämpfe condenſirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewiſſermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdeſtillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und beſchlägt ſich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 443.



Die Entſtehung dieſes Thaues läßt ſich leicht erklären. Wir haben ſchon oben geſehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Waſſerdampfes für eine beſtimmte Temperatur eine gewiſſe Gränze nicht überſteigen kann, daß das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur ſteigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. iſt das Maximum der Spannkraft des Waſſerdampfes 17,3 Millimeter (Theil II. Seite 359), und die entſprechende Dichtigkeit des Waſſerdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Kubikmeter können alſo bei einer Temperatur von 20° höchſtens 17,18 Gramm Waſſer in Form von Dampf enthalten ſeyn.

Wir haben aber ferner geſehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenſoviel Waſſerdampf enthalten ſeyn kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß ſich in dieſem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Waſſerdampfes ſummiren. Bei einer Temperatur von 20° können alſo in einem Kubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Waſſer als Dampf enthalten ſeyn.

Man ſagt, die Luft ſey mit Waſſerdampf *geſättigt*, wenn der in ihr verbreitete Waſſerdampf das ihrer Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit geſättigte Luft einen kälteren Körper, ſo wird dieſer die nächſten Luftſchichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Waſſerdampfes wird ſich verdichten müſſen und ſetzt ſich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf dieſe Weiſe bildet ſich der Beſchlag an den Fenſterſcheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug iſt, um die Fenſterſcheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer iſt die Luft mit Feuchtigkeit geſättigt, d. h. es iſt nicht immer in derſelben gerade ſoviel Waſſerdampf enthalten, als ſie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Kubikmeter

Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Waſſerdampf, ſo iſt ſie nicht geſättigt, denn bei dieſer Temperatur könnte ja jedes Kubikmeter Luft 17,18 Gramm Waſſerdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle auf Seite 359 erſieht man aber, daß die Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfes bei 16° gleich 0,00001363 iſt, für eine Temperatur von 16° wäre alſo die Luft geſättigt, man müßte alſo die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Waſſerdampf ſtattfinden ſollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Waſſerdampfes beginnt, die Temperatur alſo, für welche die Luft gerade mit Waſſerdampf geſättigt iſt, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt iſt es nun, welchen man am Daniel'ſchen Hygrometer beobachtet; ſobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet iſt, fängt dieſe Kugel an ſich zu beſchlagen; die Temperatur des Thaupunktes lieſ't man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Waſſergehalt der mit Dampf geſättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 40° an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
— 20°	1,3	1,5	10°	9,5	9,7
— 15	1,9	2,1	11	10,1	10,3
— 10	2,6	2,9	12	10,7	10,9
— 5	3,7	4,0	13	11,4	11,6
0	5,0	5,4	14	12,1	12,2
1	5,4	5,7	15	12,8	13,0
2	5,7	6,1	16	13,6	13,7
3	6,1	6,5	17	14,5	14,5
4	6,5	6,9	18	15,4	15,3
5	6,9	7,3	19	16,3	16,2
6	7,4	7,7	20	17,3	17,1
7	7,9	8,2	21	18,3	18,1
8	8,4	8,7	22	19,4	19,1
9	8,9	9,2	23	20,6	20,2

Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
24	21,8	21,3	33	36,2	34,3
25	23,1	22,5	34	38,3	36,2
26	24,4	23,8	35	40,4	38,1
27	25,9	25,1	36	42,7	40,2
28	27,4	26,4	37	45,0	42,2
29	29,0	27,9	38	47,6	44,4
30	30,6	29,4	39	50,1	46,7
31	32,4	31,0	40	53,0	49,2
32	34,3	32,6	"	"	"

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° angiebt, ſo erſehen wir aus dieſer Tabelle, daß jedes Kubikmeter Luft 10,7 Gramm Waſſerdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17°, ſo enthielte jedes Kubikmeter Luft 14,5 Gramm Waſſerdampf u. ſ. w.

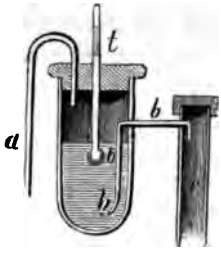
Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'ſchen Hygrometers laſſen ſich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* iſt an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anweſenheit des Beobachters in die Nähe deſſelben, wodurch ſowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometriſchen Zuſtand der Luft, welcher noch dadurch verſchlimmert wird, daß der käufliche Aether immer nicht ganz waſſerfrei iſt.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerkſam gemacht, mit dem Daniel'ſchen Hygrometer genaue Reſultate zu erhalten, er conſtruirte ein anderes auf demſelben Principe beruhendes Inſtrument, welches jedoch nicht ſo beachtet worden zu ſeyn ſcheint, wie es verdient. Seine Einrichtung iſt im Weſentlichen folgende:

Ein kleines Gefäß von dünnem Meſſingblech, welches außen vergoldet iſt, wird mit einem beweglichen Deckel geſchloſſen, durch welchen eine gekrümmte Röhre und ein kleines Thermometer *t* hindurchgehen; eine andere Röhre *b*, welche auf der Seite in das Gefäß eintritt, reicht bis auf den Boden deſſelben hinab. Durch das Rohr *c*, deſſen unteres Ende

mit einer kleinen Druckpumpe in Verbindung steht und auf einen Tisch aufgeschraubt werden kann, wird Luft eingepumpt, welche, an dem unteren Ende von *b* austretend, in Blasen durch den Aether aufsteigt und dadurch seine rasche Verdampfung bewirkt, in Folge deren das Gefäß außen beschlägt. Die mit Aetherdämpfen gesättigte Luft entweicht durch die Röhre *a*. Hier hat der Aether schon seiner ganzen Ausdehnung nach gleiche Temperatur, weil er durch die Luftblasen in Bewegung gehalten wird. Die Druckpumpe kann durch eine mit Luft gefüllte Blase ersetzt werden.

Fig. 444.



Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Verbesserung des eben besprochenen angesehen werden kann. Das Gefäß ist von polirtem Silberblech; das Rohr, welches die Stelle von *a* vertritt, führt zu einem entfernten kleinen Aspirator, welcher die Luft aus dem Gefäße aussaugt, während durch das andere Rohr, welches die Stelle von *b* vertritt, die Luft einströmt und in Blasen durch den Aether streicht. Der Beobachter steht am Aspirator und beobachtet das Silbergefäß und sein Thermometer mit dem Fernrohre. Je nachdem man den Ausfluß des Wassers aus dem Aspirator regulirt, strömt die Luft schneller oder weniger schnell durch den Aether, so daß man die Temperaturerniedrigung des Gefäßes ganz in seiner Gewalt hat und es beliebig lange auf constanter Temperatur erhalten kann. Wenn das Gefäß die Temperatur des Thaupunktes hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses am Aspirator hin, um den Beschlag des Gefäßes verschwinden zu machen, die geringste Beschleunigung des Ausflusses aber vermehrt den Beschlag.

Ein geübter Beobachter könnte selbst durch Saugen mit dem Munde den Aspirator entbehrlich machen.

August's Psychrometer ist Fig. 445 (a. f. S.) dargestellt; es besteht 211
aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden

Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
24	21,8	21,3	33	36,2	34,3
25	23,1	22,5	34	38,3	36,2
26	24,4	23,8	35	40,4	38,1
27	25,9	25,1	36	42,7	40,2
28	27,4	26,4	37	45,0	42,2
29	29,0	27,9	38	47,6	44,4
30	30,6	29,4	39	50,1	46,7
31	32,4	31,0	40	53,0	49,2
32	34,3	32,6	"	"	"

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° angiebt, ſo erſehen wir aus dieſer Tabelle, daß jedes Kubikmeter Luft 10,7 Gramm Waſſerdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17°, ſo enthielte jedes Kubikmeter Luft 14,5 Gramm Waſſerdampf u. ſ. w.

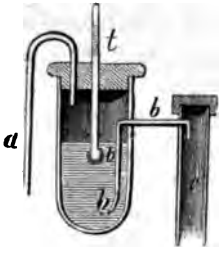
Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'ſchen Hygrometers laſſen ſich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* iſt an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anweſenheit des Beobachters in die Nähe deſſelben, wodurch ſowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometriſchen Zuſtand der Luft, welcher noch dadurch verſchlimmert wird, daß der käufliche Aether immer nicht ganz waſſerfrei iſt.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerkſam gemacht, mit dem Daniel'ſchen Hygrometer genaue Reſultate zu erhalten, er conſtruirte ein anderes auf demſelben Principe beruhendes Inſtrument, welches jedoch nicht ſo beachtet worden zu ſeyn ſcheint, wie es verdient. Seine Einrichtung iſt im Weſentlichen folgende:

Ein kleines Gefäß von dünnem Meſſingblech, welches außen vergoldet iſt, wird mit einem beweglichen Deckel geſchloſſen, durch welchen eine gekrümmte Röhre und ein kleines Thermometer *t* hindurchgehen; eine andere Röhre *b*, welche auf der Seite in das Gefäß eintritt, reicht bis auf den Boden deſſelben hinab. Durch das Rohr *c*, deſſen unteres Ende

mit einer kleinen Druckpumpe in Verbindung steht und auf einen Tisch aufgeschraubt werden kann, wird Luft eingepumpt, welche, an dem unteren Ende von *b* austretend, in Blasen durch den Aether aufsteigt und dadurch seine rasche Verdampfung bewirkt, in Folge deren das Gefäß außen beschlägt. Die mit Aetherdämpfen gesättigte Luft entweicht durch die Röhre *a*. Hier hat der Aether schon seiner ganzen Ausdehnung nach gleiche Temperatur, weil er durch die Luftblasen in Bewegung gehalten wird. Die Druckpumpe kann durch eine mit Luft gefüllte Blase ersetzt werden.

Fig. 444.



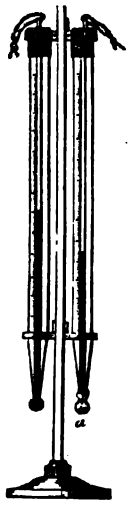
Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Verbesserung des eben besprochenen angesehen werden kann. Das Gefäß ist von polirtem Silberblech; das Rohr, welches die Stelle von *a* vertritt, führt zu einem entfernten kleinen Aspirator, welcher die Luft aus dem Gefäße ausfaugt, während durch das andere Rohr, welches die Stelle von *b* vertritt, die Luft einströmt und in Blasen durch den Aether streicht. Der Beobachter steht am Aspirator und beobachtet das Silbergefäß und sein Thermometer mit dem Fernrohre. Je nachdem man den Ausfluß des Wassers aus dem Aspirator regulirt, strömt die Luft schneller oder weniger schnell durch den Aether, so daß man die Temperaturerniedrigung des Gefäßes ganz in seiner Gewalt hat und es beliebig lange auf constanter Temperatur erhalten kann. Wenn das Gefäß die Temperatur des Thaupunktes hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses am Aspirator hin, um den Beschlag des Gefäßes verschwinden zu machen, die geringste Beschleunigung des Ausflusses aber vermehrt den Beschlag.

Ein geübter Beobachter könnte selbst durch Saugen mit dem Munde den Aspirator entbehrlich machen.

August's Psychrometer ist Fig. 445 (a. f. S.) dargestellt; es besteht 211
aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden

Thermometer ſtehen alsdann gleich hoch; iſt aber die Luft nicht mit Waſſerdampf geſättigt, ſo wird das umwickelte Thermometer ſinken, und zwar um ſo tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſchließen.

Fig. 445.



Wenn ein hinreichend ſtarker Luftzug ſtattfindet, ſo wird ſich die an der naſſen Thermometerkugel vorbeiſtreichende Luft mit Waſſerdampf ſättigen, ſie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das naſſe Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieſer Kugel erkaltet und für welche ſie ſich mit Waſſerdampf ſättigt. Nehmen wir an, das naſſe Thermometer zeigt 16°, ſo ſehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeiſtreicht, auf 16° erkaltet wird, und daß ſie dieſelbe für dieſe Temperatur geſättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmaſſe für die Temperatur von 16° mit Waſſerdampf geſättigt, ſo würde jedes Kubikmeter Luft 13,7 Gramm Waſſerdampf enthalten; ſo viel Waſſerdampf enthält ſie aber in der That nicht, denn ſie nimmt ja an der naſſen Kugel, bis zu 16° erkaltet, noch Waſſerdampf auf; der Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre iſt alſo von der Art, daß jedes Kubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Waſſerdampf enthält.

Die Menge des Waſſerdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem ſie an der naſſen Kugel vorbeiſtreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche ſie zur Dampfbildung abgiebt; dieſe Wärmequantität iſt aber um ſo bedeutender, je ſtärker ſie erkaltet wird, ſie iſt der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Waſſerdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn ſie am naſſen Thermometer vorbeiſtreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieſer Temperaturdifferenz proportional ſetzen. Bezeichnen wir dieſe Temperaturdifferenz mit d, ſo können wir die Quantität des Waſſerdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft aufnimmt, welches nach und nach an der naſſen Kugel vorbeiſtreicht, mit cd bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Waſſerdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft bei der Temperatur des naſſen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Waſſerdampfes alſo, welchen die Luft wirklich enthält, welche am naſſen Thermometer vorbeigeſtrichen iſt, ſo beſteht dieſe Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich,

welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche sie schon enthielt, es ist also

$$M = X + cd$$

oder

$$X = M - cd.$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniel'schen Hygrometer ergiebt sich

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.												
Grade nach Celſius.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3 1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
1	5,1	4,2	3 3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7 7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7.0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1 9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2 3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6 0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1.0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18 1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23.1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21.1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15.0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	49,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16.0	14,2	12,5

Man findet in dieſer Tabelle den Waſſergehalt eines Kubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerſte Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Vertikalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überſchrieben iſt. So findet man z. B. für eine Lufttemperatur von 20°, wenn das naſſe Thermometer auf 16° ſteht, wenn alſo die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° iſt, den Waſſergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in dieſem Falle enthält jedes Kubikcentimeter Luft 11,1 Gramm Waſſerdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Verſuche nachgewieſen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer weſentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geſchloſſenen Raume nicht ſo tief ſinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgeſetzt iſt. Ebenſo fand er, daß bei niedriger Temperatur und ſehr feuchter Luft die aus den Angaben des Pſychrometers berechneten Werthe des Waſſergehaltes bedeutend von dem mittelſt des Aſpirators gefundenen abweichen; die in der Tabelle auf der vorigen Seite angegebenen Werthe des Waſſergehaltes der Luft ſind alſo wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

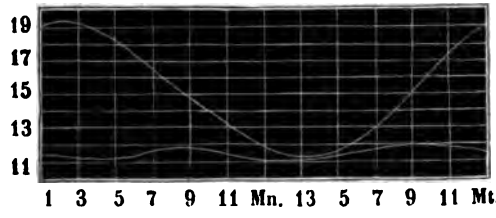
Tägliche Variationen im Waſſergehalte der Luft. Da bei ho- 212
her Temperatur mehr Waſſerdampf in der Luft verbreitet ſeyn kann, da mit ſteigender Wärme das Waſſer an der Oberfläche der Gewäſſer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunſtet, ſo läßt ſich wohl erwarten, daß der Waſſergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Geſetze der täglichen Variationen des Waſſergehaltes der Atmoſphäre ſind beſonders durch lange Verſuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Stunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6.05	11,67	7.80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4 09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4.06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4.07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11.72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieſer Tabelle ſind die Variationen des Waſſergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 446 graphiſch, und

Fig. 446.



zwar in der unteren Kurve, dargeſtellt. Die Abſciſſen ſind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Waſſerdampfes proportional aufgetragen. Man ſieht, daß der Waſſergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abend und gegen 9 Uhr Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang hat.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur ſteigt, vermehrt ſich auch die Menge des Waſſerdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die ſtarke Erwärmung des Bodens veranlaßter auf-

wärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; nun nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Die obere Kurve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der jeder Stunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Kurven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen, »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir, »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Kubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sey sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Kubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 359), oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu seyn. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperarur von + 2° nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende

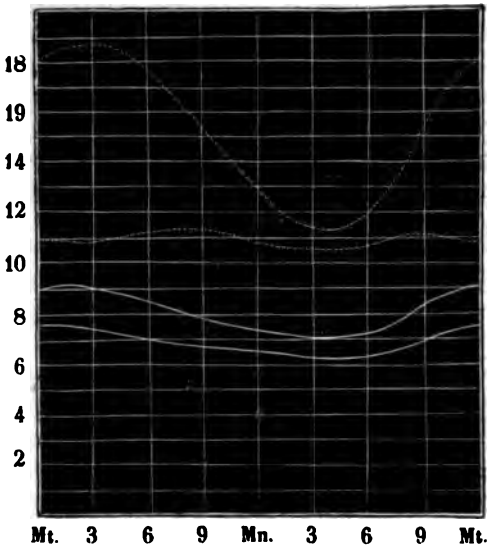
Temperatur beinahe vollſtändig mit Waſſerdampf geſättigt iſt und die geringſte Temperaturerniedrigung ſchon einen Niederſchlag zur Folge hat.

In dieſem Sinne können wir alſo ſagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchteſten iſt, obgleich der abſolute Waſſergehalt geringer iſt als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen drei Uhr Nachmittags iſt im Sommer die Luft am trockenſten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Waſſergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendeſtunden der täglichen Periode des Barometers zuſammen, ſo daß man offenbar ſieht, wie dieſe Perioden durch die Variationen des Waſſergehaltes der Luft bedingt ſind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Geſetz, weil der aufſteigende Luftſtrom die Waſſerdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterſte der beiden ausgezogenen Kurven Fig. 447 ſtellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Kurven die entſprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darſtellt. Zuerſt ſieht man bei der Betrachtung dieſer Kurven, daß in Zürich der Waſſergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerſtandes nur 1 Maximum und nur 1 Minimum ſtattfindet; auch in der Höhe nimmt der Waſſergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, dieſe Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Waſſergehalt von 9 Uhr an ſchon wieder abnimmt, weil der aufſteigende Luftſtrom, welcher die Abnahme des Waſſergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an,

Fig. 447.



wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstromes nachläßt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden punktirten und die obere der beiden ausgezogenen Kurven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt seyn würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe, denn die beiden Kurven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Kurven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sey, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil: so fanden z. B. Sauſſure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockener als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockener zu seyn, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. Die fol- 213
gende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar . .	4,509mm	85,0
Februar. .	4,749	79,9
März . .	5,107	76,4
April . .	6,247	71,4
Mai . . .	7,836	69,1
Juni . . .	10,843	69,7
Juli . . .	11,626	66,5
August . .	10,701	66,1
September .	9,560	72,8
October . .	7,868	78,9
November .	5,644	85,3
December .	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel der in der Luft enthaltene Wasserdampf beträgt, wenn man die Quantität des Wasserdampfes, welche sich in der Luft befinden würde, wenn sie gesättigt wäre, mit 100 bezeichnet. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr groß ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten seyn müßte, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt seyn sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai, Juni, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

214 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfs ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, daß bei einer Temperatur von 23,7° die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 596 jedes Kubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei — 3° gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter — 3°, die Luft hätte also um

mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Der Thau. Es ist oben, auf Seite 591, erklärt worden, wie der 215
feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniel'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, die Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf 216
mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf in physikalischem Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit

kalten feſten Körpern, ſondern mitten in der Luft vor ſich geht, ſo entſtehen Nebel, welche im Großen daſſelbe ſind wie der Schwaden, den wir über kochendem Waſſer ſehen.

Die Nebel entſtehen gewöhnlich, wenn das Waſſer der Seen und Flüſſe oder der feuchte Boden wärmer ſind als die ſchon mit Feuchtigkeit geſättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Waſſers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten ſich alsbald wieder, wenn ſie ſich in der kälteren ſchon mit Waſſerdämpfen geſättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Waſſers und der Luft bilden ſich keine Nebel, wenn die Luft trocken iſt, ſo daß ſich alle die Waſſerdämpfe, welche vom Boden aufſteigen, in ihr verbreiten können, ohne ſie zu ſättigen.

Nach dem, was ſo eben über die Bildung des Nebels geſagt wurde, erklärt ſich leicht, daß ſich die Nebel vorzugsweiſe im Herbſte über Flüſſen und Seen und über feuchten Wieſen bilden. In England ſind die Nebel beſonders häufig, weil es von einem warmen Meere umſpült iſt; ebenſo ſind die warmen Gewäſſer des Golfſtromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufſtrömt, die Urſache der dort ſo häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter ſcheinbar ganz verſchiedenen Umſtänden; ſo ſieht man dichte Nebel über den Flüſſen, während die Luft wärmer iſt als das Waſſer oder das Eis. In dieſem Falle iſt die warme Luft mit Feuchtigkeit geſättigt, und wenn ſie ſich mit den Luftſchichten miſcht, welche durch die Berührung mit dem kalten Waſſer oder dem Eiſe ſchon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, ſo muß nothwendig eine Condenſation des Waſſerdampfes erfolgen.

Auf dieſelbe Weiſe entſtehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüſſen und Seen. Die Luft iſt wärmer als die Oberfläche des Waſſers, aber ſie iſt mit Feuchtigkeit geſättigt, und ſobald ſie ſich an Orte verbreitet, an welchen die Friſche des Waſſers fühlbar iſt, wird durch die Erkaltung der Waſſerdampf verdichtet.

Der Nebel bildet ſich jedoch nicht allein über Flüſſen und Seen, ſondern auch mitten im Lande, ſobald durch Luftſtrömungen wärmere feuchte Luftmaſſen mit kälteren gemiſcht und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken ſind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen ſchweben, ſo wie denn Nebel nichts ſind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft ſieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf dieſen Bergſpitzen ſich mitten im Nebel befinden.

Auf den erſten Anblick ſcheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft ſchweben können, da ſie doch aus Bläschen beſtehen, welche offenbar

schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet, in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannichfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden.

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 448 (a. f. S.) sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer, manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in

unſerer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweiſe bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erſcheinen.

Fig. 448.

Dieſe Grundformen gehen auf mannichfaltige Weiſe in einander über; Howard hat dieſe Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, iſt der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke, es ſind die kleinen weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt ſind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerſtreut, ſondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden ſind, ſo bilden ſie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn ſie nahe am Horizonte ſtehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, ſo gehen ſie in die ſtreifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauſchwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unſerer Figur links), übergehen.

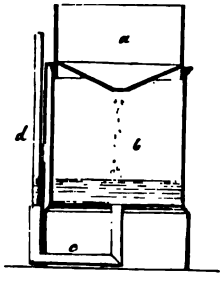
Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannichfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken seyn können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem andern Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen bestehen.

Die Haufwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom wieder aufhört; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Fig. 449.



Regenmenge. Die Menge des Regens, wel- 217
cher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 449 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechcylinder *b*, welcher 15 bis 20 Centimeter im Durchmesser hat und auf welchem ein zweiter Cylinder *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt

wird. In der Mitte dieſes Trichters befindet ſich eine Oeffnung, durch welche alles Waſſer, welches in Form von Regen in den oben offenen Cylinder *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Durch eine gekrümmte Röhre *c* ſteht das Behälter *b* mit einer Glasröhre *d* in Verbindung, vermittelſt deren man jederzeit erkennen kann, wie hoch das Waſſer in *b* ſteht. Vorausgeſetzt, daß die Querſchnitte von *a* und *b* gleich, oder doch nicht merklich verſchieden ſind, giebt die Höhe der Waſſerſchicht in *b* an, wie hoch ſich der Boden in einer gewiſſen Zeit bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeſchluckt oder verdunſtet wäre.

In Frankfurt a. M. wurden in verſchiedenen Monaten der Jahre 1840 bis 1843 folgende Regenmengen beobachtet:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Januar . . .	2″ 3‴	3″ 9‴	1″ 2‴	3″ 0‴	2″ 4‴
Februar . . .	1 1	10	4	1 10	1
März	10	1 3	3 2	6	1 5
April	2	1 3	4	1 10	11
Mai	10	1 6	1 8	3 11	2
Juni	2 2	3 1	9	5 6	2 10
Juli	2 1	1 9	1 11	2 10	2 2
Auguſt . . .	10	3 1	4 2	3 7	2 11
September. .	2 5	2 2	2 1	2	2
October . . .	1 9	5	1 3	2 10	1 9
November . .	4 3	2 8	2 9	2 2	2 11
December . .	8	3 2	7	9	1 3

Daraus ergeben ſich für die verſchiedenen Jahreszeiten der erwähnten 4 Jahre die Regenmengen wie folgt:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Winter . . .	7″ 1‴	5″ 3‴	4″ 8‴	5″ 5‴	5″ 6‴
Frühling . .	1 2	4	5 2	6 3	4 2
Sommer. . .	5 1	7 11	6 10	11 11	7 11
Herbſt . . .	8 5	9 10	6 1	5 2	7 4
Jahr.	21″ 9‴	27″	22″ 9‴	28″ 9‴	24″ 11‴

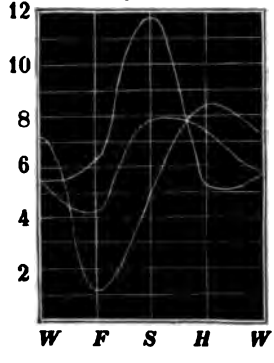
Hier iſt, um die Regenmenge des Winters zu erhalten, der des Januars und Februars eines jeden Jahres die Regenmenge des Decembers im vorhergehenden Jahre zugezählt.

Man ſieht alſo, wie wohl vorauszuſehen war, daß die Regenmenge von einem Jahre zum anderen ſich ändert und daß ſie in Frankfurt a. M. nach dieſen 4 Jahren im Durchſchnitt 24 Zoll 11 Linien (altfranz. Maaß) beträgt. In den Jahren 1841 und 1843 fiel mehr, in den beiden anderen Jahren aber weniger Regen.

Die Regenmenge iſt nicht gleichförmig auf die vier Jahreszeiten vertheilt, durchſchnittlich fällt im Sommer am meiſten, 7″ 11‴, im Frühjahr am wenigſten, 4″ 2‴, Regen.

In Fig. 450 ſtellt die mittlere Kurve die durchſchnittliche Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten dar. Die obere Kurve ſtellt die Regenmenge der verſchiedenen Jahreszeiten für 1843, die untere für 1840 dar. Im Jahre 1843 ſieht man das Maximum der Regenmenge im Sommer ſehr hoch ſteigen; dieſer Sommer war ſehr feucht; im Jahre 1840 dagegen blieb die Regenmenge des Sommers weit unter dem Mittel; in dieſem Jahre regnete es aber im Herbſte ſehr viel.

Fig. 450.



Um die wahren Mittelzahlen für die Vertheilung des Regens an irgend einem Orte zu erhalten, muß man eine möglichſt große Reihe von Beobachtungszahlen combiniren.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältniſſe verſchiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Liſſabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährl. Regenmenge	25,4 P.Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	30,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbſt	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Weſtliches und ſüdliches England.

	Inſel Man	Briſtol.	Liverpool.	Mancheſter	Lancaſter.	Dor
Jahr . .	34,8	21,8	32,3	23,9	37,2	44,
Winter .	27,3	20,5	21,6	24,0	26,2	30,
Frühling	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,
Sommer	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,
Herbſt .	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,

III. Inneres und öſtliches England.

	Oxford.	London.	Dumfries.	Glasgow.	Edinburg.	Chatt worth
Jahr . .	20,6	23,4	34,7	20,0	23,3	25,
Winter .	21,9	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbſt . .	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Weſtküſte von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux.	La Rochelle	Franecker.	Rotterdam	Breda.	Midd burg
Jahr . .	24,3	24,2	28,6	21,2	24,7	25,
Winter .	27,7	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbſt . .	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Weſtrheiniſche Gegenden.

	Paris.	Brüſſel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Straß- burg.	Cobl
Jahr . .	20,8	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,
Winter .	20,7	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling	25,0	23,7	21,9	25,	27,4	23,6	24,0
Sommer	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbſt .	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mannheim.	Stuttgart.	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr . .	21,0	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter .	18,3	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst . .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden und Dänemark.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr . .	83,2	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter .	26,6	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling	17,9	15,4	13,3	21,0	16,3	19,4
Sommer	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst . .	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr . .	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,0	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst . .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr . . .	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter .	39,1	31.0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling.	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer .	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst . .	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erſte Horizontalreihe einer jeden dieſer Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariſer Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieſer Tabellen ergiebt ſich zunächſt, daß ſich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

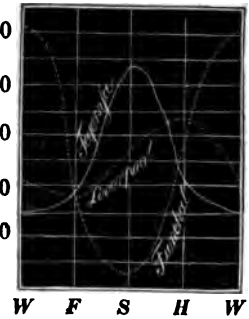
In England, auf den Weſtküſten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen ſind die Herbſtregen vorherrſchend.

In Deutſchland, den weſtrheiniſchen Gegenden, Dänemark und Schweden herrſchen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im ſüdöſtlichen Frankreich, Italien, dem ſüdlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europa's, welcher Afrika zunächſt liegt, faſt ganz.

Dieſe Unterſchiede in der Vertheilung der Regenmenge ſind in Fig. 451 durch Kurven anſchaulich gemacht, welche die Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten an drei Orten darſtellen, an welchen der Charakter der erwähnten drei Provinzen ſehr entſchieden hervortritt. Als Ordinaten ſind die Procente der jährlichen Regenmenge genommen, welche auf jede der vier Jahreszeiten kommen.

Fig. 451.



Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, ſo iſt die jährliche Regenmenge.

in den Ebenen von Deutſchland . . 1,2
im Inneren von England 1,4
an den Küſten von England. . . . 2,1.

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederſchlag veranlaſſen, wenn ſie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demſelben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrſcheinlich weil die Regentropfen, indem ſie durch die mit Waſſerdampf geſättigte Luft herabfallen, ſich fortwährend vergrößern; ſo fallen z. B. im Hofe des Obſervatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchſchnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terraſſe nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa

im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchſchnitt kommen auf das Jahr

im ſüdlichen Europa . . .	120	Regentage
» mittleren » . . .	146	»
» nördlichen » . . .	180	»

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, iſt klar, denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, ſondern auch, wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, ſo nimmt dagegen die Intenſität des Regens im Allgemeinen ab, und ſo erklärt es ſich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer iſt.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt ſowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; ſo kommen z. B. im Durchſchnitt

in Petersburg	168
» Kaſan	90
» Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter ſonſt gleichen Umſtänden der Regen in wärmeren Gegenden intenſiver iſt als in kälteren, ſo iſt er auch in der warmen Jahreszeit intenſiver als in der kalten. Im Durchſchnitt kommen in Deutſchland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage iſt alſo in Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch iſt die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt ſo groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als ſonſt in mehreren Wochen.

Regen zwiſchen den Wendekreiſen. Da, wo die Paſſatwinde mit 218
großer Regelmäßigkeit wehen, iſt der Himmel meiſtens heiter, und es regnet ſelten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemiſphäre ſteht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Paſſates geſtört durch die Intenſität des aufſteigenden Luftſtromes, ſobald ſich die Sonne dem Zenith nähert; um dieſe Zeit ſtellt ſich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken iſt.

Humboldt hat uns die Erſcheinungen der naſſen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beſchrieben. Vom December bis zum Februar iſt die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Paſſatwind weht weniger ſtark, und oft iſt die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; ſie bilden ſich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten iſt, und ſind von heftigen Regengüſſen begleitet. Gegen Ende April fängt ei-

gentlich die naſſe Jahreszeit an; der Himmel überzieht ſich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts iſt der Himmel meiſtens rein. Der Regen wird am heftigſten, wenn die Sonne im Zenith ſteht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit iſt in verſchiedenen Gegenden nicht dieſelbe, ſie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Oſtindien, wo die Regelmäßigkeit der Paſſatwinde durch örtliche Verhältniſſe geſtört iſt und wo ſtatt ihrer die Mouſſons wehen, finden wir auch normale Regenverhältniſſe; an der ſteilen Weſtküſte von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unſeres Winters zuſammen, ſie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südweſtmouſſons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anſtoßen. Während es auf der Küſte Malabar regnet, iſt auf der Oſtküſte Coromandel der Himmel heiter, hier ſtellt ſich die Regenzeit mit dem Nordoſtpaſſat, alſo gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Weſtküſte die trockene Jahreszeit herrſcht.

In der Region der Calmen findet man dieſe periodiſchen Regen nicht, es finden hier faſt täglich heftige Regengüſſe Statt. Der aufſteigende Luftſtrom führt eine Maſſe von Waſſerdämpfen in die Höhe, welche ſich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht faſt immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden ſich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich meiſt unter heftigen Windſtößen und elektriſchen Entladungen eine ungeheure Regenmenge entſtrömt. Gegen Abend zerſtreut ſich das Gewölk, und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge iſt im Allgemeinen in den Tropen ſehr groß, ſie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Grenada 105 Pariſer Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meiſt nur auf wenige Monate vertheilt iſt und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, ſo iſt klar, daß der Regen ſehr ſtark ſeyn muß. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen ſind ſehr groß und fallen mit ſolcher Geſchwindigkeit nieder, daß ſie auf der nakten Haut ein ſchmerzhaftes Gefühl erzeugen.

219 **Schnee und Hagel.** Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis jetzt noch ſehr wenig. Wahrſcheinlich beſtehen die Wolken, in denen ſich die Schneeflocken zuerſt bilden, nicht aus Dunſtbläschen, ſondern aus feinen Eiskryſtällchen, welche durch fortwährende Condenſation von Waſſer-

dämpfen größer werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Auf die regelmäßige Gestalt der Schneeflocken, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter 0° erkalten Körper auffängt, hat schon Keppler aufmerksam gemacht. Scoresby hatte Gelegenheit, in den Polarregionen eine Menge interessanter Untersuchungen über die Gestalt der Schneeflocken zu machen. Sein Werk enthält gegen 100 verschiedene Figuren, von welchen einige der interessantesten in Fig 452 zusammengestellt sind.

Fig. 452.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Figuren zeigt, daß sich alle diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexogonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören. Auch das Eis, wie es die Oberfläche der Flüsse und Seen bedeckt, hat eine diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wenn man auch keine eigentlichen Krystallflächen an demselben beobachten kann, wie dies durch die optischen Eigenschaften des Eises schon oben, Bd. I. Seite 597, dargethan wurde.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eins der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen. Wir benutzen in der folgenden Darstellung einen interessanten Artikel, welchen Arago über diesen Gegenstand in dem Annuaire du bureau des longitudes für 1828 bekannt gemacht hat.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern

dann Alles, was ſie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkör
welche ſo groß geweſen ſeyn ſollen wie Elephanten; ohne uns bei ſo
fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir ſogleich zur Aufzäh
zuverläſſiger Nachrichten übergehen.

Hally erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welch
Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörne
meſſen, deren Durchmeſſer 4 Zoll betrug. Montignot ſammelte
11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmeſſer h
Volta verſichert, daß man unter den Hagelkörner, welche in der 9
vom 19. auf den 20. Auguſt 1787 die Stadt Como und ihre Umg
gen verwüſteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen.
Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 182
Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Dieſe Zeugniſſe beweiſen zur Genüge, daß manchmal Hagelkörner f
welche über ½ Pfund ſchwer ſind.

Die Form der Hagelkörner iſt ſehr verſchieden. In der Regel ſin
abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der 9
der Hagelkörner befindet ſich in der Regel ein undurchſichtiger Kern,
cher den Graupelkörnern gleicht; dieſer Kern iſt mit einer durchſich
Eismaſſe umgeben, in welcher ſich manchmal einzelne concentriſche S
ten unterſcheiden laſſen; bisweilen beobachtet man abwechſelnd durc
tige und undurchſichtige Eisſchichten, endlich hat man auch ſchon H
körner mit ſtrahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis -
beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er beg
ſie. Nie, oder wenigſtens faſt nie, folgt der Hagel auf den Regen
mentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meiſtens nur einige Minuten, ſelten daue
¼ Stunde lang. Die Menge des Eiſes, welches in ſo kurzer Zeit
Wolken entſtrömt, iſt ungeheuer; die Erde iſt manchmal mehrere
hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, n
ihn bringen, ſcheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeu
Tiefe zu haben, denn ſie verbreiten in der Regel eine große Dunke
Man glaubt bemerkt zu haben, daß ſie eine eigenthümliche graurötl
Farbe beſitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmaſſen h
hängen und daß ihre Ränder vielfach zerriſſen erſcheinen.

Die Hagelwolken ſcheinen meiſtens ſehr niedrig zu ſchweben. Die A
bewohner ſehen öfter unter ſich die Wolken, welche die Thäler mit F

überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1788 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine größte Breite betrug 5, seine geringste $\frac{1}{2}$ Meile (lieue = 2300 Toisen); der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle 3, an seiner breitesten 4 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt $5\frac{1}{4}$ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so daß seine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

An jedem Orte fiel der Hagel nur 7 bis 8 Minuten lang, die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24690000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben können, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun

ſo viel Wärme gebunden werden, daß das Waſſer in den tieferen Wolkenſchichten gefriert. Wenn aber die Verdunſtung des Waſſers in den oberen Wolkenſchichten durch die Wärme der Sonnenſtrahlen veranlaßt wird, ſo iſt nicht einzuſehen, warum durch die Verdunſtung den tieferen Wolkenſchichten ſoviel Wärme entzogen werden ſoll.

In Beziehung auf die zweite Frage ſchlug Volta eine in der That geiſtreiche Theorie vor, welche auch eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengeſetzter Elektricität geladene Wolkenſchichten über einander ſchweben. Wenn nun die noch ſehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, ſo werden ſie bis zu einer gewiſſen Tiefe eindringen und ſich mit einer neuen Eisſchicht umgeben; ſie werden ſich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieſer zurückgeſtoßen, während die obere ſie anzieht; ſie ſteigen alſo trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo ſich derſelbe Vorgang wiederholt; ſo fahren ſie eine Zeitlang zwiſchen den beiden Wolken hin und her, bis ſie endlich herabfallen, wenn ſie zu ſchwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen dieſe Anſicht läßt ſich einwenden, daß es ſchwer denkbar iſt, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, alſo ohne einen Entladungsſchlag, ſo große Eismaſſen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die elektriſche Ladung der beiden Wolken auch ſo ſtark ſeyn ſollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur andern übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwiſchen ihnen herſtellen.

Fünftes Kapitel.

Optiſche Erſcheinungen der Atmoſphäre.

220 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erſcheint uns blau, und zwar iſt dieſes Blau je nach dem Zuſtande der Atmoſphäre bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erſcheint der Himmel ſehr dunkelblau, ja faſt ſchwarz. Es iſt dies leicht zu erklären; wenn die Luft abſolut durchſichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerſtreuten, ſo müßte uns der Himmel vollkommen ſchwarz erſcheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem ſchwarzen Grunde ſtehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und ſo kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erſcheint, weil die von der Sonne erleuchten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerſtreuen. Dieſe Erleuchtung der Atmoſphäre durch die

Sonnenſtrahlen iſt die Urſache, daß wir die Sterne bei Tage nicht ſehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweiſe das blaue Licht, und deshalb erſcheint uns der an und für ſich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmoſphäre erheben, deſto dünner wird dieſer blaue Ueberzug und deſto dunkler wird uns alſo auch der Himmel erſcheinen; ſo erſcheint auch im Zenith der Himmel ſtets am dunkelſten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau der Himmels wird beſonders durch die in der Luft ſchwebenden condenſirten Waſſerdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch ſchon dicht genug zu ſeyn, um als Wolken zu erſcheinen.

Die Erſcheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man ſagte, die Luft laſſe vorzugsweiſe die rothen und gelben Strahlen durch, ſie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenſtrahlen einen ſehr weiten Weg durch die Atmoſphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelaſſenen Strahlen, welche beſonders brillant iſt, wenn Wolken durch dieſe Strahlen beleuchtet werden.

Forbes hat gezeigt, daß dieſe Meinung nicht ganz richtig ſeyn kann, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes iſt. Nach Forbes rührt das Abend- und Morgenroth nicht von der Luft ſelbſt, ſondern von dem in derſelben enthaltenen Waſſerdampfe her.

Eines Tages ſtand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch ſein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig ſah er durch die aufſteigende Dampfſäule nach der Sonne und war überraſcht, ſie ſehr tief orangeroth gefärbt zu ſehen. Später beobachtete er noch öfters daſſelbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung deſſelben. Einige Fuß über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war deſſen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollſtändiger verdichtet war, hörte die Erſcheinung gänzlich auf. Selbſt bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenſtrahlen, ſie warf einen Schatten wie ein feſter Körper; und wenn ihre Dicke gering war, ſo war ſie zwar durchſcheinend aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes ſcheint alſo einer beſonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgeſtalt iſt der Waſſerdampf ganz durchſichtig und farblos, in jenem Uebergangszuſtande iſt er durchſichtig und rauchroth, wenn er aber vollſtändig zu Nebelbläschen verdichtet iſt, ſo iſt er bei geringer Dicke durchſcheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchſichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farbloſe, elaſtiſche Flüſſigkeit giebt der Waſſerdampf der Luft ihre größte Durchſichtigkeit, wie man ſie beſonders beobachtet, wenn ſich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszuſtande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in dieſem Zuſtande die Erſcheinungen der Abendröthe hervor.

Dieſe Theorie erklärt auch ſehr gut, daß das Abendroth weit brillanter iſt als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen ſchönen Wetters ſind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftſchichten in verſchiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor ſich aber in Folge deſſen der Waſſerdampf vollſtändig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszuſtand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens iſt es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Proceſſes wahrſcheinlich das Roth erzeugt haben würden, ſteigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat, alsdann iſt aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne ſteht ſchon hoch am Himmel. Das feurige Anſehen des Morgenhimmels rührt vor der Anweſenheit eines ſolchen Ueberſchuſſes an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entſtehen, im Gegenſatze mit der Tendenz der ſteigenden Sonne, ſie zu zerſtreuen; das Morgenroth iſt deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am weſtlichen Horizonte verſchwunden iſt, ſo tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, ſondern eine Dämmerung, welche nach Umſtänden bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Dieſe Dämmerung rührt daher, daß die Luft am weſtlichen Himmel und die in ihr ſchwebenden Waſſertheilchen noch lange von der Sonne beſchienen werden, nachdem ſie unſeren Blicken ſchon verſchwunden iſt, und daß dieſe erleuchteten Luft- und Waſſertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zuſenden. In unſeren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr bis die Sonne 18^0 unter dem Horizonte iſt. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt beſonders daher, daß die Sonnenbahn dort ſehr ſtark gegen den Horizont geneigt iſt und daß es deshalb ſehr lange dauert, bis die Sonne 18^0 unter dem Horizonte ſteht. Je mehr wir uns dem Aequator nähern, deſto weniger ſchräg iſt die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator ſelbſt macht ſie einen rechten Winkel mit demſelben; in den heißen Ländern iſt deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien iſt ſie kürzer als bei uns; in Chili dauert ſie nur $\frac{1}{4}$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Dieſe ſo ſehr kurze Dauer der Dämmerung läßt ſich nicht allein durch die Rich-

tung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, ſie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund, denn in unſeren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft ſchwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtſtrahlen aber ſtark reflectiren, ſehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

Luftſpiegelung. Wenn man entfernte Gegenſtände betrachtet, ſo 221
ſieht man bisweilen noch gerade, ſchiefe oder umgekehrte Bilder derſelben. Dieſe Bilder, welche ohne ſichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

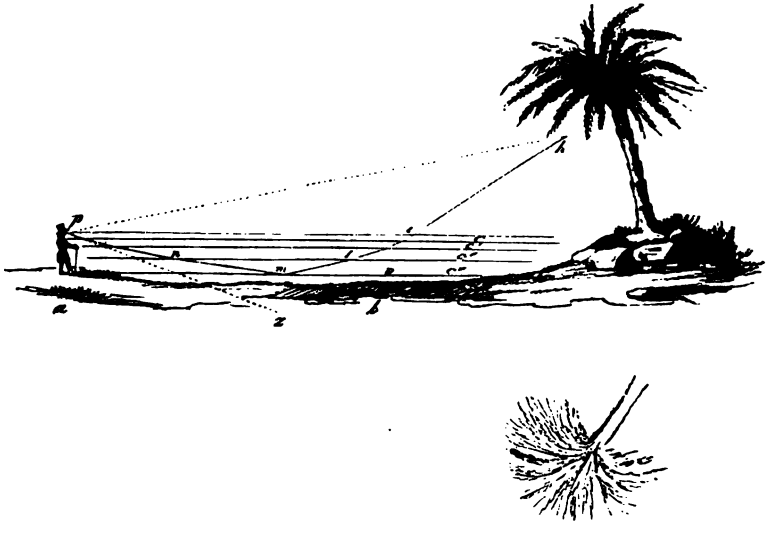
Wir wollen uns zunächſt mit dieſer Erſcheinung beſchäftigen, wie ſie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher ſich zur Zeit der Ueberſchwemmung die Gewäſſer des Nils verbreiten. An den Ufern des Fluſſes und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüſte hin ſieht man kleine Erhöhungen, auf welchen ſich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich iſt die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erſcheinen alle entfernten Gegenſtände ſcharf und deutlich, ſobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenſtrahlen erhitzt wird und die unteren Luftſchichten an dieſer hohen Temperatur Theil nehmen, ſo entſteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge ſehr merklich iſt und welche auch in unſeren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftſchichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während ſie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, ſo entwickelt ſich das Phänomen der Luftſpiegelung in ſeiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne ſchaut, ſieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenſtände, unterhalb derſelben ſieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden ſehen zu können, auf welchem ſie ſich erheben; alle dieſe Gegenſtände erſcheinen ihm alſo, als ob ſie ſich mitten in einem ungeheuren See befänden. Dieſe Erſcheinung wurde während der franzöſiſchen Expedition in Aegypten oft beobachtet, ſie war für die Soldaten ein ganz neues Schauſpiel und eine grauſame Täuſchung. Wenn ſie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuſer und Palmbäume ſahen, ſo konnten ſie nicht zweifeln, daß alle dieſe Bilder durch die Oberfläche eines Sees geſpiegelt ſeyen. Ermüdet durch forcirte Märſche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen ſie dem Ufer zu, aber dieſes Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Anſehen von Waſſer hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen

Gegenſtände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuſcht, aber die Täuſchung war von kurzer Dauer. Monge entdeckte auf der Stelle die wahre Urſache.

Bei ſtarker Sonnenhitze und ruhiger Luft iſt es möglich, daß die unteren Luftſchichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit beſitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufſteigen. Dies vorausgeſetzt, ſey ab, Fig. 453, der horizontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nnu unterſuchen, auf welche Weiſe das Licht von h in das Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächſt iſt klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung ph ſieht, die Strahlen werden zwar nicht in einer abſolut geraden Linie von h nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, ſie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchſtens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entſtehen kann.

Fig. 453.



Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen ausſendet, ſind aber auch ſolche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen und welche alſo in der Richtung pz ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf die weniger dichte Luftſchicht c trifft, ſo gebrochen werden, daß er ſich vom Einfallslothe entfernt; ebenſo wird er ſich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er

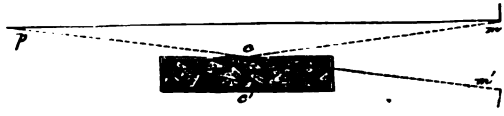
auf die nächſte, abermals weniger dichte Luftſchicht trifft u. ſ. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer ſchräger, bis ſie endlich aus der Schicht, in welcher ſie ſich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; ſie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

In unſerer Figur iſt der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftſchichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, ſo werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Dies iſt die Erklärung, welche Monge von dieſen Luftbildern gegeben und in den Mémoires de l'Institut d'Egypte bekannt gemacht hat.

Der folgende Verſuch mag dienen, dieſe Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine ſchwache Nachahmung der Luftſpiegelung iſt. Es ſey *cc'*, Fig. 454, ein Kaſten von Eiſenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18

Fig. 454.



Centimeter hoch und breit; er war mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kaſten hinſieht, ſo erblickt man in der Richtung *pm* das directe, in der Richtung *pm'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Viſirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kaſtens kann man dieſelbe Erſcheinung beobachten.

Wollaſton hat noch einen anderen Verſuch ausgeſonnen, um ſolche Bilder in Flüſſigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder viereckiges Gefäß von Kryſtallglas zwei paſſende Flüſſigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche ſich an der Gränzfläche allmälig mit einander verbinden, wie Waſſer und Schwefelſäure, Waſſer und Weingeiſt, Waſſer und Zuckerſyrup u. ſ. w.; ſieht man über die Gränzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenſeite des Glaſes gemalten Schrift, ſo ſieht man von derſelben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umſtänden werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftſpiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küſte von Dover hinſieht, ſo erblickt man bei ſchönem Wetter die Spitzen der vier höchſten Thürme des Schloſſes zu Dover. Der Reſt des Gebäudes iſt hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr

12 Meilen (engliſche?) weit vom Beobachter entfernt iſt. Am 6. Au
1806 Abends gegen 7 Uhr war Vince ſehr erſtaunt, nicht allein die
Thürme ſondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. D
war offenbar eine Wirkung der atmoſphäriſchen Refraction. Wegen
ſehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftſtrahlen
krummer Linie in's Auge gelangt.

Derſelbe Phyſiker hat noch ähnliche Erſcheinungen beobachtet und
kannt gemacht, beſonders, indem er mit einem guten Teleſkope die
nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; ſo ſah er z. B. ei
Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich un
ſcheiden, zu gleicher Zeit ſah er aber auch gerade über demſelben ein g
regelmäßiges, umgekehrtes Bild, ſo daß die Spitzen der Maſten des dire
und des verkehrten Bildes zuſammenſtießen, wie dies Fig. 455 darge

Fig. 455.

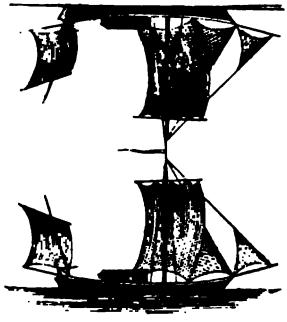


Fig. 456.

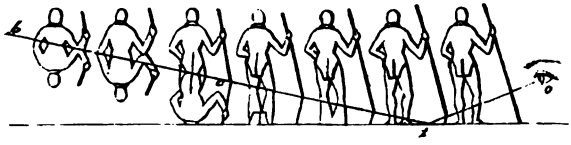
iſt. Ein anderes Mal ſah er von einem Schiffe, deſſen Maſten erſt
dem Horizonte waren, zwei vollſtändige Bilder, Fig. 456, ein aufrec
und ein verkehrtes.

Solche Erſcheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftſpiegelu
welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, ſind unter dem Na
der Erhebung oder des Seegeſichtes bekannt. Scoresby hatte in
grönländiſchen Meeren häufig Gelegenheit, ſie wahrzunehmen. Bald
er entfernte Schiffe in vertikaler Richtung verlängert oder zuſammen
drückt, bald ſah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes,
Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen alſo noch
ſtändig unter dem Horizonte waren. Alle dieſe Erſcheinungen rühren
von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verſchiedenen L
ſchichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres
einer ſandigen Ebene, welche ſich bis zum Fort Risban erſtreckt, ähnl

Erſcheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollſtändige Erklärung derſelben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewiſſen Umſtänden von einem Punkte *l*, Fig. 457, aus, welcher ſich in einiger Entfernung von dem

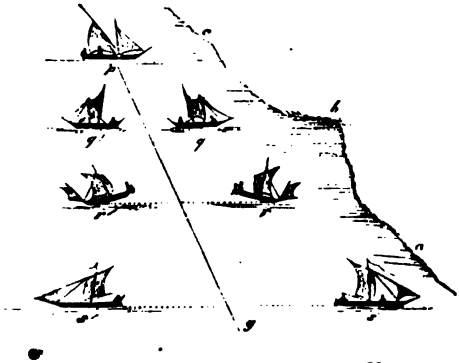
Fig. 457.



Beobachter befindet, man ſich eine Linie *tcb* gezogen denken kann, ſo daß alle Gegenſtände, welche ſich unter derſelben befinden, unſichtbar bleiben, während man von den Gegenſtänden, welche ſich bis zu einer gewiſſen Höhe über derſelben befinden, zwei Bilder ſieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieſer Linie. Ein Menſch alſo, welcher ſich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verſchiedenen in Fig. 457 dargeſtellten Erſcheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenſtande ſelbſt. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genferſee ein Luftbild, welches ſeitwärts vom Gegenſtande lag; ſie befanden ſich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hauſe und ſahen mit dem Fernrohre in der Richtung *gp*, Fig. 458, nach einem Schiffe, welches ſich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle Rive gegenüber befand und nach Genf ſegelte. Während das Schiff allmälig nach *q*, *r* und *s* kam, ſahen ſie ein deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches ſich wie das Schiff ſelber näherte, während die Entfernung des Schiffes und ſeines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild ſo hell, daß man es mit bloßen Augen ſehen konnte.

Fig. 458.



Dieſe Erſcheinung erklärt ſich dadurch, daß die Luft über dem See am öſtlichen Ufer *abc* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während ſie weiter links ſchon durch die Sonne erwärmt wurde; ſo konnte

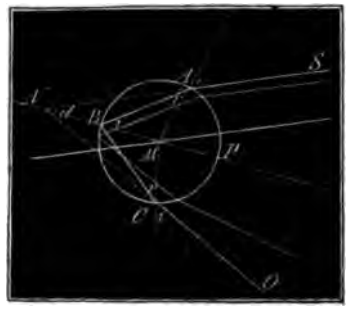
die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Waſſer vertikal ſeyn.

Dieſe Beiſpiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erſcheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftſchichten von ſehr verſchiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß dieſe Luftſchichten in ebenen Flächen an einander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall iſt, wenn die Gränzflächen gekrümmt und unregelmäßig ſind, ſo erſcheinen die Bilder verzerrt. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erſcheinungen eine Wirkung der Luftſpiegelung ſind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küſten von Sicilien beobachtet. Auf einmal ſieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlöſſer, Paläſte, kurz eine Menge von Gegenſtänden, deren Anblick ſich fortwährend ändert. Das Volk ſtrömt dann dem Ufer zu, um dieſes ſonderbare Schauſpiel anzuſehen. Dieſe feenhafte Erſcheinung beruht darin, daß Gegenſtände ſichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre nicht ſehen kann und welche zerriſſen, verzerrt und ſich fortwährend zu bewegen ſcheinen, weil die ungleich dichten Luftſchichten in ſteter Bewegung ſind.

222 **Der Regenbogen.** Es iſt allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen ſieht, wenn man eine regnende Wolke vor ſich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbögen bildet gleichſam die Baſis eines Kegels, deſſen Spitze das Auge bildet und deſſen Axe mit der geraden Linie zuſammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erſcheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Waſſerfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenſtrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Fig. 459.



Wenn ein Sonnenſtrahl SA, Fig. 459, einen Regentropfen trifft, ſo wird er gebrochen, und es iſt leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls AB zu berechnen oder zu conſtruiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, ſo iſt $\sin. i = 1{,}33 \sin. r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Waſſer iſt. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils geſpiegelt, der geſpiegelte trifft

in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird in der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, ſo ſchneiden ſie ſich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, iſt der Winkel, welchen der austretende Sonnenſtrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieſes Winkels ſoll zunächſt beſtimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl geſpiegelt wird, das Einfallsloth BN, ſo iſt der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA iſt, wie leicht einzuſehen, $= 2r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ ein Außenwinkel des Dreiecks MAN iſt, ſo haben wir

$$\frac{1}{2} d = 2r - i,$$

denn der Winkel MAN iſt gleich i. Daraus folgt aber

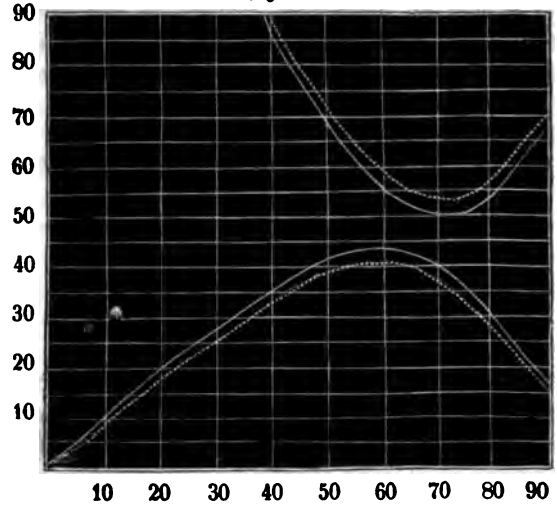
$$d = 4r - 2i \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1).$$

Dieſer Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenſtrahlen mit der Größe des Einfallswinkels ſich ändert, denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem alſo die unter ſich parallel eintretenden Sonnenſtrahlen in verſchiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden ſie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verſchiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, deſſen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für dieſen Strahl iſt $i = o$, wenn aber $i = o$, ſo iſt auch r und d zu Null. Je mehr nun der Einfallspunkt A' nach A hinrückt, deſto größer wird i, und die ſtetige Veränderung von i hat auch eine ſtetige Veränderung von d zur Folge. Es iſt leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gl. 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geſchehen iſt.

i	r	d
10°	7° 30′	10°
20°	14° 54′	19° 36′
30°	22° 5′	28° 20′
40°	28° 54′	35° 36′
50°	35° 10′	40° 40′
60°	40° 37′	42° 28′
70°	44° 57′	39° 48′
80°	47° 46′	31° 4′
90°	48° 45′	15°.

Nach dieſer Tabelle iſt die ausgezogene der beiden unteren Kurven, Fig. 460, conſtruirt, welche das Verhältniß anſchaulich macht, in welchem

Fig. 460.



der Einfallswinkel i zur Ablenkung d ſteht. Die verſchiedenen Werthe von i ſind als Abſciſſen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man überſieht aus dieſer Figur ſehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächſt, bis ſie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 58—59° iſt. Wächſt i noch mehr, ſo nimmt die Ablenkung wieder ab.

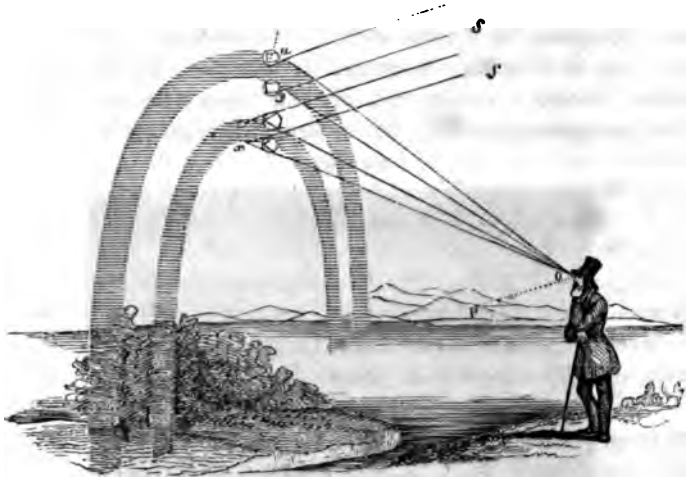
Aus dem eben Geſagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenſtrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es iſt begreiflich, daß durch dieſe Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den ſie hervorbringen, ganz außerordentlich geſchwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge ſich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung in's Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche dieſe Divergenz ein Minimum iſt, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche ſehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Kurve ABC, Fig. 460, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abſciſſen i die Ablenkung ſich verhältnißmäßig am wenigſten ändert, ſo finden wir, daß dies der Fall iſt, wenn die Ablenkung ein Maximum iſt, denn an dieſer Stelle iſt die Kurve

faſt horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche ſelbſt einige Grade größer und kleiner ſind als 59^0, iſt die Ablenkung faſt ganz dieſelbe, ſie beträgt ſehr nahe $42^0\ 30'$; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenſtrahlen verläßt alſo den Tropfen faſt in derſelben Richtung, nachdem ſie eine Ablenkung von ſehr nahe $42^0\ 30'$ erlitten haben; und dieſe Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man ſich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie op, Fig. 461, gezogen, und durch dieſelbe eine Vertikalebene

Fig. 461.



gelegt. Zieht man ferner durch o eine Linie ov, ſo daß der Winkel $pov = 42^0\ 30'$, ſo werden nach dieſer Richtung hin ſich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirkſame Strahlen in's Auge ſenden. Jedoch nicht allein in dieſer Richtung empfängt das Auge wirkſame Strahlen, ſondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie ov um die Axe op entſteht; das Auge wird alſo einen lichten Kreis ſehen, deſſen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von $42^0\ 30'$ erſcheint.

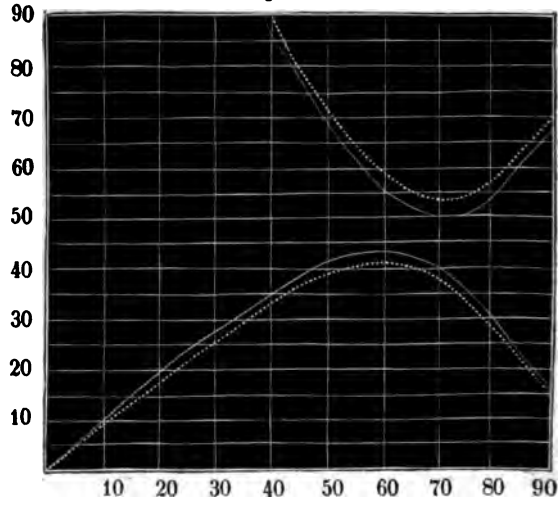
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es iſt dies aber nur der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge ſieht alſo in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von $30'$ Breite erſcheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, ſondern eine Scheibe iſt, die den ſcheinbaren

Durchmeſſer 30′ hat. Für violette Strahlen iſt der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von i und d.

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60°	40° 28′
20°	18° 57′	70°	37° 28′
30°	27° 22′	80°	28° 28′
40°	34° 20′	90°	12° 18′.

Nach dieſen Zahlen iſt die unterſte Kurve, Fig. 462, conſtruirt. Das Maximum der Ablenkung, welches die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, iſt demnach nahe 40° 30′; dies iſt aber auch die Richtung, in welcher die wirkſamen violetten Strahlen austreten, es wird alſo concentriſch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmeſſer ſichtbar ſeyn, welcher gleichfalls eine Breite

Fig. 462.



von 30′ hat. Zwiſchen dieſen äußerſten Bogen erſcheinen die der übrigen prismatiſchen Farben, und ſo bildet alſo gewiſſermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmeſſer des rothen Bogens um 2° größer iſt als der des violetten.

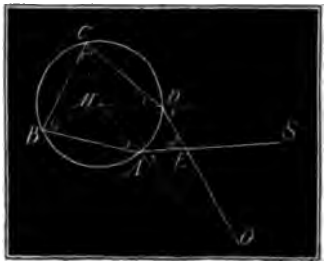
Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, ſo hängt ſie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne

eben untergeht, erſcheint der Regenbogen im Oſten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale iſt; wenn der Beobachter in der Ebene ſteht, ſo bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis überſehen, wenn er auf einer iſolirten Bergſpitze von geringer Breite ſteht. Bei Sonnenaufgang erſcheint der Regenbogen im Weſten. Je höher die Sonne ſteigt, deſto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, deſto kleiner iſt alſo das dem Auge ſichtbare Bogenſtück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch ſteht, iſt für einen in der Ebene ſtehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr ſichtbar, weil alsdann der Gipfel deſſelben gerade in den Horizont, der ganze Bogen alſo unter den Horizont fallen würde. Von den Maſten der Schiffe ſieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; ſolche ganz kreisförmige Regenbogen ſieht man auch oft an Waſſerfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben beſprochenen Regenbogen ſieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem erſteren concentriſchen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte iſt; beim äußeren Regenbogen iſt nämlich das Roth innen, das Violet außen. Der äußere Regenbogen iſt weit weniger lichtſtark als der innere, er erſcheint weit blaſſer. Man hatte früher die irrige Anſicht, der zweite Regenbogen ſey gleichſam ein Spiegelbild des erſten. Die Entſtehung des äußeren Regenbogens beruht auf denſelben Principien wie die des inneren, er entſteht durch Sonnenſtrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 463 iſt der Gang eines Lichtſtrahles dargeſtellt, welchen derſelbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlaſſen. SA iſt der eine fallende Sonnenſtrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C geſpiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In dieſem Falle ſchneiden ſich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, deſſen Größe veränderlich iſt, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, alſo unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungwinkels d zu ermitteln.

Fig. 463.



Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall iſt, 6 rechte oder 540°. Um den Winkel d zu

finden, haben wir alſo nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zuſammen machen ſie alſo $4r$ aus; der Winkel bei D ſowohl als der bei A iſt aber gleich r + dem Winkel MDE, für den Winkel MDE können wir aber ſeinen Werth $180 - i$ ſetzen, folglich iſt der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D ſind alſo zuſammen $2r + 360 - 2i$; zieht man nun von 540° die beiden Eckwinkel bei B und C, alſo $4r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, alſo $2r + 360 - 2i$ ab, ſo kommt

$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

Nach dieſer Formel ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe des Einfallswinkels von i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht.

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel für Roth	Ablenkungswinkel für Violett
0	180°	180°
40	86° 36′	88° 0′
60	56° 18′	58° 24′
70	50° 18′	53° 24′
80	43° 24′	56° 12′
90	68° 30′	70° 18′.

Wenn ein rechtwinklig einfallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, ſo tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und austretenden Strahls iſt für dieſen Fall einmaliger innerer Spiegelung gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet, die Ablenkung iſt alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, ſo nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächſt. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° iſt die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt ſie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe $53\frac{1}{2}^0$. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder ab.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle ſind die beiden oberen Kurven der Fig. 462 conſtruirt, und zwar gilt die ausgezogene für die rothen, die punktirte für die violetten Strahlen. Man ſieht aus dem Anblick der Figur,

daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß alſo in der Richtung der kleinſten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und dieſe Strahlen ſind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlaſſend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den erſten Regenbogen entwickelten Schlußweiſe ergiebt ſich, daß man unter den geeigneten Umſtänden einen rothen Bogen ſehen wird, deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, deſſen Radius unter einen Winkel von 53½° erſcheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt alſo ungefähr 3½°.

In Fig. 462 ſtellt der Höhenunterſchied der beiden concaven Gipfel der oberen Kurven die Breite des äußeren Regenbogens, die Höhendifferenz der gegen einander gekehrten Gipfel der beiden ausgezogenen Kurven die Breite des Zwiſchenraums zwiſchen den beiden Regenbogen dar, welche ungefähr 7½° beträgt.

Der äußere Regenbogen iſt blaſſer, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen ſehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn dieſe Strahlen nicht zu lichtſchwach wären.

Höfe und Nebenſonnen. Oft ſieht man, wenn der Himmel mit 223
einem leichten Wolkenſchleier überzogen iſt, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig ſieht man dieſe Ringe nicht vollſtändig, ſondern nur ſtückweiſe. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, ſo liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend iſt; man ſieht aber dieſe auch, ſobald man das Bild der Sonne in ruhigem Waſſer oder in einem auf der Rückſeite geſchwärzten Spiegel betrachtet.

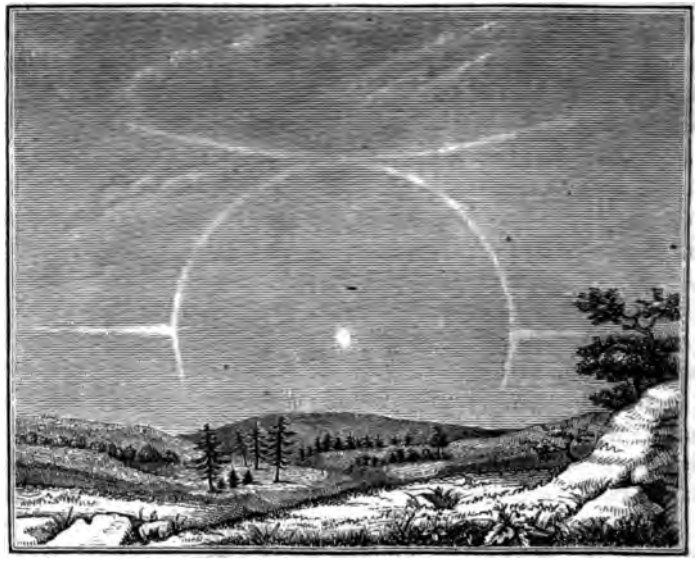
Dieſe Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme ſieht, wenn man ſie durch eine mit semen lycopodii beſtreute Glasplatte betrachtet (Bd. I. S. 501), und ſicherlich ſind die Höfe ebenſo wie dieſes Phänomen zu den Interferenzerſcheinungen zu zählen; die Dunſtbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen ſieht man auch noch zwei größere farbige Kreiſe um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechſeln ſind; der Halbmeſſer des kleineren dieſer hellen Ringe erſcheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth iſt bei denſelben nach innen gekehrt, der innere Rand iſt ſchärfer, der äußere mehr verſchwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten

erſcheinen die beiden Kreiſe zu gleicher Zeit. Fig. 464 ſtellt die Erſcheinung dar, wie man ſie wohl am häufigſten zu beobachten die Gelegenheit hat; es iſt nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23° Radius; er iſt durch einen horizontalen lichten Streifen durchſchnitten, welcher ſich oft bis zur Sonne ſelbſt erſtreckt. Da, wo dieſer Streifen den Lichtring durchſchneidet, iſt er am hellſten; dieſe hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes ſieht, ſind die Nebenſonnen; bisweilen erſcheint eine ſolche Nebenſonne auch vertikal über die Sonne im Gipfel des Ringes, oft erſcheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 464 dargeſtellt iſt. Oft ſieht man die Nebenſonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebenſonnen. Dieſe Ringe und die Nebenſonnen erſcheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, ſondern nur, wenn derſelbe mit einem Schleier überzogen iſt.

Die erwähnten Ringe hat ſchon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft ſchwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln ſechsſeitige Säulen ſind, ſo bilden immer je zwei nicht parallele und

Fig. 464.



nicht zuſammenſtoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden alſo gewiſſermaßen gleichſeitige, dreiſeitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung er-

litten haben, ſind den wirkſamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen ſehr nahe in derſelben Richtung austreten. Dieſe Hypotheſe erklärt alſo zugleich die Bildung des Ringes, ſeine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt ſich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weiſe ſchief ſteht, daß der rechte Winkel, welcher die Seitenflächen der Säule mit der Baſis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, deſſen brechender Winkel 90° beträgt, iſt in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebenſonnenſtreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenſtrahlen an den vertikalen Flächen der Eisnadeln; er iſt da am hellſten, wo er den Ring von 23° durchſchneidet, weil hier zwei Urſachen ſtärkerer Erleuchtung zuſammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebenſonnenſtreifen als Interferenzerſcheinung. Am vollſtändigſten iſt die Theorie der Höfe und Nebenſonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Ann. Bd. XLIX.).

Irrlichter nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in ſumpfi- 224
gen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. ſ. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verweſung vor ſich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorſchein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verſchwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erſcheinung redet, ſo herrſcht doch über dieſes Phänomen noch große Ungewißheit, da es durchaus noch nicht genügend erklärt, ja das Thatſächliche ſelbſt noch nicht genügend ermittelt iſt, was wohl begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß die meiſten Perſonen, welche Irrlichter ſahen, nicht im Stande waren, genau zu beobachten und das Geſehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Zu den wenigen ganz zuverläſſigen Berichten über Irrlichter gehört derjenige, welchen Beſſel bekannt gemacht hat (Pogg. Ann. Bd. XLIV.). Dieſer Gelehrte beobachtete das Phänomen in der Gegend der großen Moore des Herzogthums Bremen. Er beſchreibt die Irrlichter als Flämmchen, welche über einem an vielen Stellen mit ſtehendem Waſſer bedeckten Grunde entſtanden und, nachdem ſie einige Zeit geleuchtet hatten, wieder verſchwanden; ſie waren von bläulicher Farbe, wie die Flamme des Waſſerſtoffgaſes und ſehr lichtſchwach, ſo daß der Grund, über welchem ein einzelnes Flämmchen brannte, nicht merklich erleuchtet war, oder ihre oft große Zahl eine merkliche Helligkeit verbreitet hätte. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung; oft nahmen ſie eine Bewegung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derſelben gleichzeitig erfuhren.

Volta meinte, die Irrlichter beſtänden aus Sumpfgas (Kohlenwaſſerſtoffgas), welches durch einen elektriſchen Funken entzündet würde. Aber

woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sey Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt würden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

225 **Das Zodiakallicht.** Um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen erscheint manchmal kurz nach Sonnenuntergang am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstraße, welcher die Form einer schief auf dem Horizonte stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht.

In unseren Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizonte. Auch des Morgens ist es schon beobachtet worden, allein weit schwächer als des Abends.

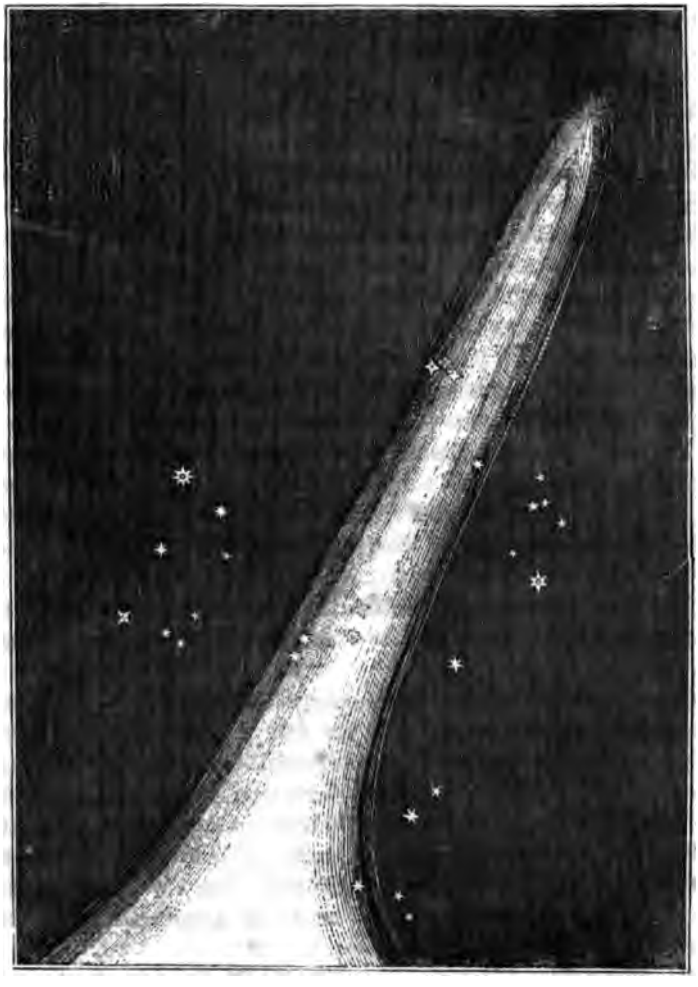
Da die Axe des Zodiakallichtes mit dem Thierkreise zusammenfällt, so ist klar, daß die Neigung derselben gegen den Horizont nicht an allen Orten der Erde dieselbe seyn kann; in der That erscheint es um so weniger geneigt, je mehr man sich dem Aequator nähert; innerhalb der Tropen, wo es weit häufiger als in höheren Breiten und weit leuchtender und schöner beobachtet wird, so daß es Humboldt einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt, steht es fast senkrecht auf dem Horizonte. Auf der nördlichen Halbkugel erscheint dem Beobachter die Spitze nach Süden gerichtet, also links von der Basis, auf der südlichen Halbkugel erscheint aber die ganze Pyramide nach Norden, also nach der rechten Seite des Beobachters hin geneigt.

Da das Zodiakallicht in unseren Gegenden zu den selteneren Erscheinungen gehört, so ist eine Abbildung durchaus nöthig, und eine klare Vorstellung dieser eigenthümlichen Erscheinung zu geben. Fig. 465 stellt eine von Horner mitgetheilte Zeichnung eines Zodiakallichtes dar, welches dieser Gelehrte zu Sta. Cruz an der Küste von Brasilien ungefähr 27° S. B. beobachtete.

Was die Erklärung des Zodiakallichtes betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiakallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbst leuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des

ſchnellen Umſchwungs der Sonne ſo ſtark abgeplattet, daß ſie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erſcheint; aus den Geſetzen der Gravitation läßt ſich aber darthun, daß eine etwaige Sonnen-

Fig. 465.



atmoſphäre ſich nicht bis zur Merkursbahn erſtrecken kann; weit wahrſcheinlicher iſt dagegen die andere Anſicht, nach welcher die Erſcheinung des Zodiakallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuſchreiben iſt.

Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine. Eine allgemein 226

bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Sekunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. — 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letzte Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. — 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu seyn und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen die Meteorsteine oder die Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich mehrere Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. Nov. 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, demnach aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde,

welche faſt nie fehlt. Eine weitere Beſchreibung würde uns zu tief in mineralogiſche Details führen.

Man hat an verſchiedenen Orten Steinmaſſen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgsſyſtemen jener Gegenden ganz fremd ſind, aber mit notoriſchen Meteorſteinen die größte Aehnlichkeit haben, und iſt deshalb berechtigt, auch dieſe für Aërolithen zu halten.

Die Maſſe der Meteorſteine iſt oft ſehr groß.

Eines der Bruchſtücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradſchma im Agramer Comitat ein 71 Pfund ſchwerer Meteorſteine. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorſteinmaſſe wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene, von Pallas beſchriebene Maſſe von Meteoreiſen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man ſolche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es iſt kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine kosmiſchen Urſprungs, daß ſie höchſt wahrſcheinlich Maſſen ſind, welche wie die Planeten um die Sonne kreiſen und, in die Anziehungsſphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterſcheinung erklärt ſich am einfachſten durch die Annahme, daß dieſe kleinen Weltkörper mit einer Atmoſphäre brennbarer Gaſe umgeben ſind, welche ſich beim Eintritte in die ſauerſtoffhaltige Atmoſphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreiſenden Maſſen der Art ganze Schwärme derſelben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines ſolchen Ringes an einer beſtimmten Stelle die Erdbahn ſchneidet, ſo erklären ſich dadurch die periodiſchen Sternſchnuppenfälle.

Sechstes Kapitel.

Von der atmosphärischen Elektricität.

227 **Erste Entdeckung der atmosphärischen Elektricität.** Otto von Guericke, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall in seiner Abhandlung (Philos. transactions), scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sey, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leidner Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken auffangen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drachen, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich in's Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen,

und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hatte seinen Versuch im Juni 1752 angestellt; er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen (Mém. des Savans étrangers t. II.). Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches ebenso stark, ja stärker ist als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren (Mém. des Savans étrangers t. VI)«.

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

Elektricität während der Gewitter. Wenn man den elektrischen 228
Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über dem Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze mei-

ſtens einen Zickzack bilden; dieſe Form iſt dem Blitz und dem elektriſchen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, ſind nicht ſo vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Geſetze des Gleichgewichts und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, iſt es doch klar, daß ſie ſich nicht auf einmal ſo vollſtändig entladen, daß ſie durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zuſtand zurückgeführt werden können; ſomit erklärt es ſich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorſpringen können.

Die Länge des Blitzes ſcheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu ſeyn, aus denen ſie beſtehen. Von dem Conductor der beſten Elektriſirmaſchine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 1 Meter Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man ſie über Stoffe von Wolle oder Seide ſchlagen läßt, welche mit etwas Staub beſtreut ſind; ſo müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu ſehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen ſchon durch Vertheilung elektriſirt ſind, und daß endlich, wenn der Blitz erſcheint, ſich das zerſtörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herſtellt, daß gewiſſermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überſpringen, daß aber die elektriſche Flüſſigkeit nicht den ganzen Weg zwiſchen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner iſt nicht ſchwerer zu erklären, wie das Geräuſch eines kleinen elektriſchen Funkens, er entſteht durch die Vibrationen der gewaltſam erſchütterten Luft. Man ſieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entſteht auch gleichzeitig der Knall; da ſich aber der Schall langſamer verbreitet als das Licht, da er in einer Sekunde nur 340 Meter zurücklegt, ſo ſieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher ſich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entſtehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz ſey 3400 Meter lang und der Beobachter befinde ſich in der Verlängerung ſeiner Bahn, ſo wird der Schall von dem entfernteren Ende das Blitzes 10 Sekunden ſpäter ankommen als von dem zunächſt gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verſchiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, ſo hört er alſo nicht einen momentanen Knall, ſondern ein, je nach der Länge des Blitzes und ſeiner Stellung gegen die Bahn deſſelben, länger oder kürzer dauern-

des Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verſtärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, ſondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroſkope die Exiſtenz einer elektriſchen Spannung in der Atmoſphäre nachweiſen.

Ueber den Urſprung der atmoſphäriſchen Elektricität wiſſen wir ſo gut wie nichts, obgleich über dieſen Gegenſtand gewaltig viel geſchrieben worden iſt. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine raſche Condenſation des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes entſtehe, daß alſo die Elektricität eine Folge der ſchnellen Bildung dichter Wolken ſey. — Nach den Verſuchen Pouillet's wird durch die Verdunſtung des Waſſers, welches bald mehr, bald weniger fremde Subſtanzen gelöſ't enthält, durch jede Verbrennung, ja ſelbſt durch die Vegetation Elektricität entwickelt, und es iſt wahrſcheinlich, daß wenigſtens die Verdunſtung eine Quelle der atmoſphäriſchen Elektricität iſt.

Die Schwierigkeiten, welche ſich einer genügenden Erklärung der atmoſphäriſchen Elektricität entgegenſtellen, ſind wohl beſonders darin zu ſuchen, daß wir wohl das Verhalten feſter Körper gegen die Elektricität, aber nicht das der gasförmigen Körper, der Dämpfe und der Wolken kennen; auch iſt es ſchwer, hierüber entſcheidende Verſuche anzuſtellen, weil alle elektriſche Erſcheinungen, die wir im Kleinen an Gaſen und Dämpfen etwa beobachten könnten, zu ſehr durch die Nähe feſter, bald mehr, bald weniger leitender Körper modificirt ſind, und man deshalb nicht mit Sicherheit auf die Bildung und Vertheilung der Elektricität in höheren Luftregionen ſchließen kann.

Wirkungen des Blitzes auf der Erde. Denken wir uns, daß eine 229
Gewitterwolke 2000 bis 6000 Meter hoch über dem Meere oder über einem großen See ſchwebe; nehmen wir z. B. an, ſie ſey poſitiv elektriſch, ſo wird ſie vertheilend wirken, die poſitive Elektricität im Waſſer zurückgeſtoßen, die negative aber an der Oberfläche des Waſſers angehäuft; dieſe Anhäufung kann ſo bedeutend ſeyn, daß ſie eine merkliche Erhebung des Waſſers bewirkt, es wird ſich eine große Woge, ein Waſſerberg bilden können, welcher ſo lange bleibt, als dieſer elektriſche Zuſtand dauert, der auf dreierlei Weiſe endigen kann. 1) Wenn ſich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsſchlag erfolgt, ſo wird ſich auch der natürlich-elektriſche Zuſtand des Waſſers allmälig wieder herſtellen. 2) Wenn der Blitz zwiſchen einer Gewitterwolke und einer andern, oder zwiſchen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überſchlägt, wenn alſo die Wolke plötzlich entladen wird, ſo muß die an der Oberfläche des Waſſerberges angehäufte Elektricität auch raſch wieder

ab-, die bisher abgeſtoßene raſch wieder zuſtrömen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückſchlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke ſich nahe genug befindet und wenn ſie ſtark genug mit Elektricität geladen iſt, ſo ſchlägt der Blitz über. Dieſer directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein ſtärkeres Aufwallen des Waſſers hervor als der Rückſchlag. Ein ſolcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechaniſche Wirkung auf die ponderablen Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine ſichtbaren Wirkungen hervor, es ſcheint jedoch, daß ſolche Störungen des elektriſchen Gleichgewichts durch organiſche Weſen, und namentlich durch nervenkranke Perſonen, empfunden werden können.

Der Rückſchlag iſt ſtets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beiſpiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beiſpielen, daß Menſchen und Thiere durch den Rückſchlag getödtet worden ſind; man findet an ihnen in dieſem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandſpuren.

Die furchtbarſten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einſchlägt, ſo bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was ſich über die Ebene erhebt, iſt vorzugsweiſe dem Blitzſchlage ausgeſetzt; daher kommt es, daß ſo oft Thiere mitten in der Ebene erſchlagen werden; unter ſonſt gleichen Umſtänden iſt man jedoch auf einem nichtleitenden Boden ſicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume ſind ſchon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, ſo findet in den Bäumen eine ſtarke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb ſagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einſam ſtehenden Bäumen, ja ſelbſt unter einſam in der Ebene ſtehenden Sträuchen keinen Schutz ſuchen.

Gebäude ſind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zuſammengeſetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieſer Subſtanzen iſt auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieſelben ſehr verſchieden. Wenn der Blitz einſchlägt, ſo trifft er vorzugsweiſe die beſſeren Leiter, mögen ſie nun frei oder durch ſchlechtere Leiter eingehüllt ſeyn; die vertheilende Kraft der atmoſphäriſchen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeſchlagenen Nagel eben ſo gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechaniſchen Wirkungen des Blitzes ſind in der Regel ſehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einſchlägt, ſo werden die Mö-

bel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trocknes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltner Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Sauſſure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felsen verglas't, an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundamentes fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter anderen fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, daß die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren erwähnt wer-

den, welche man in den ſandigen Ebenen von Schleſien, von Oſtpreußen, von Cumberland und in Braſilien, nahe bei Bahia, findet. Dieſe Röhren ſind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmeſſer beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche iſt vollkommen verglaſ't, die äußere iſt rauh, ſie ſieht aus wie eine mit zuſammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruſte; man findet ſie bald in vertikaler, bald in ſchräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen ſie ſich gewöhnlich und werden nach und nach ſpitzer. Fiedler, welcher über dieſen Gegenſtand viele intereſſante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. LV. u. LXI.), bemerkt, daß ſich in einer gewiſſen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Waſſermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entſtanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Waſſer durchſchlägt.

Um einen Begriff von den fürchterlichen Wirkungen des Blitzes zu geben, mag hier eine Beſchreibung des Unglücks folgen, welches ſich am 11. Juli 1819 zu Chateauneuf-les-Mouſtiers ereignete, wie es durch den Generalvicar Trincalye von Digne an die Akademie der Wiſſenſchaften berichtet wurde.

Im Arrondiſſement von Digne, im ſüdöſtlichen Theile des Departements der Niederalpen, an die kleine Stadt Mouſtiers gränzend, welche durch ihre Fayencemanufakturen bekannt iſt, liegt das Dorf Chateauneuf. Es iſt auf der Höhe und an dem Abhange eines der Vorgebirge der Alpen gelegen, welche das Amphitheater von Mouſtiers bilden; es beſteht aus 14 Häuſern, welche um das Pfarrhaus und um die Kirche herum liegen; außerdem liegen noch 105 Wohnungen als Höfe zerſtreut auf dem Abhange des Gebirges.

Am Sonntage, den 11. Juli 1819 ging der Pfarrer von Mouſtiers als biſchöflicher Commiſſair nach Chateauneuf, um daſelbſt einen neuen Rector zu inſtalliren. Gegen 10½ Uhr begab man ſich in Proceſſion aus dem Pfarrhauſe in die Kirche; das Wetter war ſchön, man bemerkte nur einige dunkle Wolken. Der neue Rector begann das Hochamt zu halten.

Ein junger Menſch von 18 Jahren, welcher den Pfarrer von Mouſtiers begleitet hatte, ſang eben die Epiſtel, als man drei Donnerſchläge hörte, welche dem Blitze raſch folgten; das Miſſale wurde ihm aus den Händen geſchleudert und zerriſſen; er ſelbſt fühlte ſich am Körper durch die Flamme gleichſam gepackt, die ihn auch am Halſe ergriff. Durch eine unwillkürliche Bewegung ſchloß der junge Mann den Mund, nachdem er zuerſt entſetzlich geſchrieen hatte, er wurde niedergeworfen und auf die in der Kirche verſammelten Perſonen gewälzt, welche vor die Thüre ſtürzten. Als er zu ſich ſelbſt gekommen war, dachte er zuerſt daran, in die Kirche zurückzukehren, um ſich zu dem Pfarrer von Mouſtiers zu begeben, den er ohne Bewußtſeyn fand.

Der junge Menſch lenkte die Aufmerkſamkeit und die Sorge derjenigen, welche, leichter verletzt, noch Hülfe leiſten konnten, auf den ehrwürdigen unglücklichen Pfarrer. Man hob ihn auf, löſchte die Flamme ſeiner Kleider, und mit Hülfe von Eſſig rief man ihn nach zweiſtündiger Betäubung in's Leben zurück. Er ſpie Blut. Den Donner verſicherte er nicht gehört und nichts von Allem gewußt zu haben, was vorgegangen war. Man brachte ihn in das Pfarrhaus. Das elektriſche Fluidum hatte den oberen Theil der Goldborden ſeiner Stola ſtark verletzt und hatte im Herunterlaufen einen ſeiner Schuhe fortgeſchleudert, den man am Ende der Kirche mit zerbrochener Metallſchnalle fand. Der Stuhl, auf welchem er geſeſſen hatte, war zerbrochen. Erſt nach zwei Monaten vernarbten die Wunden, deren er fünf erhalten hatte. Während dieſer Zeit wurde er durch Schlafloſigkeit ermattet, die Arme waren gelähmt, und er litt viel bei Witterungsveränderungen.

Ein Kind wurde von den Armen ſeiner Mutter ſechs Schritte weit fortgeſchleudert; es wurde erſt in das Leben zurückgerufen, als man es in's Freie brachte. Die Kirche war mit einen dicken ſchwarzen Rauch erfüllt; man konnte die verſchiedenen Gegenſtände nur vermittelſt der Flammen der durch den Blitz entzündeten Gegenſtände erkennen. Acht Perſonen blieben todt auf dem Platze. Ein Mädchen von 19 Jahren ſtarb des anderen Tages unter ſchrecklichen Schmerzen. 82 Perſonen waren verwundet.

Der celebrirende Prieſter war nicht vom Blitze getroffen worden, vielleicht weil er ein ſeidenes Gewand trug.

Eine Frau, welche auf dem Gebirge weſtlich von Chateauneuf in einer Hütte war, ſah dreimal nach einander Feuermaſſen herabfallen, welche das ganze Dorf in Aſche legen zu müſſen ſchienen.

Wahrſcheinlich hatte der Blitz zuerſt das Kreuz auf dem Thurme getroffen, welches man in einer Entfernung von 16 Metern in einer Felsſpalte ſteckend fand. Das elektriſche Feuer drang dann durch ein in das Gewölbe geſchlagenes Loch in die Kirche; die Kanzel war zertümmert. Man fand in der Kirche eine Höhlung von $\frac{1}{2}$ Meter Durchmeſſer, welche bis auf das Straßenflaſter ging; eine andere führte bis in einen Stall, in welchem man 5 Schafe und 1 Pferd todt fand.

Die Blitzableiter beſtehen aus einer zugeſpitzten Metallſtange, welche 230
in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müſſen erfüllt ſeyn, wenn ſie ihren Zweck erfüllen ſollen:

1) Die Stange muß in eine ſehr feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend ſeyn.

3) Von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung ſtattfinden.

4) Alle Theile des Apparates müſſen die gehörigen Dimenſionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter ſchwebt, ſo werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgeſtoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig iſt, und ſie kann ſich frei im Boden verbreiten, die entgegengeſetzte Electricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo ſie frei in die Luft ausſtrömen kann; auf dieſe Weiſe iſt keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während ſo der Blitzableiter in Thätigkeit iſt, während ihn die entgegengeſetzten Elektricitäten in entgegengeſetzter Richtung durchſtrömen, kann man ſich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren, denn wo keine elektriſche Spannung vorhanden iſt, iſt auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerſt genannten Bedingungen ſey nicht erfüllt, die Spitze ſey ſtumpf, die Leitung zum Boden ſey unvollkommen oder unterbrochen, ſo iſt klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, ſondern auch, daß ſie unvermeidlich iſt; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft ſeyn kann, man kann bald ſchwächere, bald ſtärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze ſtumpf iſt, ſo kann der Blitz einſchlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerſtören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen iſt, ſo kann der Blitz ebenfalls einſchlagen, er wird ſich aber auch ſeitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben ſolche Zerſtörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden geweſen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher dieſe Fehler hat, iſt ſehr gefährlich, ſelbſt wenn der Blitz nicht einſchlägt; denn wenn an irgend einer Stelle die Leitung der Elektricität hinlänglich angehäuft iſt, ſo kann ein Funken ſeitwärts überſchlagen, welcher irgend Gegenſtände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beiſpiel anführen. Richmann, Profeſſor der Phyſik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in ſein Haus heruntergeleitet war und deſſen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu unterſuchen. Sokolow, Kupferſtecher der Akademie, ſah, wie der Funken Richmann auf die Stirne traf.

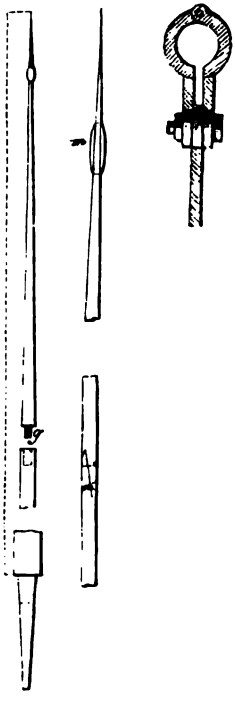
Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt ſeyn müſſen, wenn ein Blitzableiter wirkſam ſeyn ſoll, und welche Gefahren daraus entſpringen, wenn man ſie vernachläſſigt, bleibt noch Einiges über die praktiſche Ausführung der Blitzableiter zu ſagen übrig. Gay-Luſſac hat unter den Auſpicien der Akademie der Wiſſenſchaften auf das Verlangen des Miniſters des Inneren eine Inſtruction über dieſen Gegenſtand verfaßt, welche nichts zu wünſchen übrig läßt, aus der wir aber hier nur das Weſentlichſte anführen können.

Die Stange des Blitzableiters ist ungefähr 9 Meter lang; sie ist aus drei Stücken zusammengesetzt, nämlich

einer Eisenstange von 8,6 Meter Länge
einem Messingstabe von 0,6 » »
einer Platinnadel von 0,05 » »

Zusammen bilden sie einen von unten nach oben gleichmäßig zulaufenden Kegel, Fig. 466.

Fig. 466. Fig. 467. Fig. 470.



Die Platinnadel ist an dem Messingstabe mit Silber angelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Kupfer umgeben, wie man dies Fig. 467 deutlicher sieht.

Der Messingstab ist in der Eisenstange eingeschraubt und dann noch durch Querstifte befestigt.

Die Eisenstange ist manchmal, um den Transport zu erleichtern, aus zwei Stücken zusammengesetzt, von denen das eine mittelst eines 2 Decimeter langen Zapfens in das andere hineingesteckt und dann mittelst eines Querstiftes befestigt ist.

In Fig. 469 sieht man drei verschiedene Arten, nach welchen die Stange auf einem Gebäude befestigt werden kann.

Unterhalb der Stange, 8 Centimeter weit vom Dache, ist eine Platte bb', Fig. 468, angelöthet, um das Wasser abzuleiten. 5 Centimeter über dieser Platte muß die Stange cylindrisch und vollkommen gut abgedreht seyn, damit man ein Charnier ll', Fig. 468 und 470, darum legen kann, an welchem die Leitstangen befestigt werden.

Der Leiter ist eine quadratische Eisenstange, deren Seite 15 und 20 Millimeter beträgt und welche an dem Ringe ll mittelst Schrauben befestigt ist.

Die Leitstange wird über das Dach her und an dem Gebäude herunter in den Boden geleitet. Alles kommt darauf an, die Leitstange mit dem Boden möglichst gut in leitende Verbindung zu bringen. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zu der Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in meh-

rere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt m
Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, z

Fig. 468. Fig. 471.

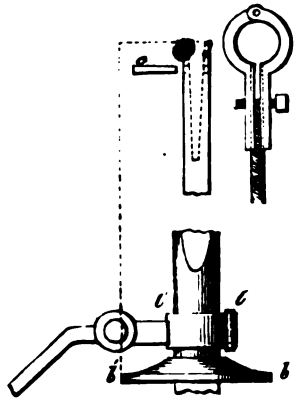
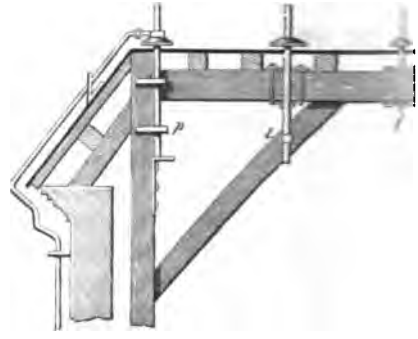


Fig. 469.



man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vort
daß auf dieſe Weiſe das Eiſen beſſer vor Roſt geſchützt wird und da
mit einem ſehr guten Leiter, der Kohle, in Berührung iſt.

Wenn man kein Waſſer in der Nähe hat, muß man die Stange
nigſtens durch einen langen Kanal, der mit Kohlen ausgefüllt wird,
einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann ma
Leitſtange auch noch in Seitenkanäle verzweigen.

Häufig wendet man ſtatt der Leitſtange ein von Kupferdraht gewu
nes Seil an, wie Fig. 471.

Wenn man leicht einſieht, daß der Blitz nicht in einen nach dieſen P
cipien conſtruirten Blitzableiter ſchlägt, ſo iſt es nicht ſchwieriger zu beg
fen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einſchla
kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maaße durch die Spitze z
ſtrömt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutraliſirt, daſe
angekommen, einen Theil der urſprünglichen Elektricität dieſer We
Wenn alſo eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug iſt, um
theilend wirken zu können, ſo wird auch ſogleich ihre elektriſche Kraft du
das Zuſtrömen der entgegengeſetzten Elektricität aus der Spitze geſchwä
Je mehr ſich die Wolke nähert, deſto ſtärker wirkt ihre vertheilende Kra
deſto mehr wird ſie aber auch durch das Zuſtrömen der entgegengeſetz
Elektricität neutraliſirt.

Die Wirkſamkeit des Blitzableiters iſt jedoch noch an einige andere B
dingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen G

genständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, es ist also ein Schlag möglich; ebenso wenn bedeutende Metallstangen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man diese Metallmassen möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben. Glücklicher Weise sind die Mittel, welche sie zur Isolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und so haben sie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

Geographische Verbreitung der Gewitter. In der heißen Zone 231
sind die Gewitter sehr häufig, namentlich zu Anfange und zu Ende der nassen Jahreszeit, in der Region der Calmen aber findet fast täglich ein Gewitter Statt; sie sind dort ungleich heftiger als in unseren Gegenden. In höheren Breiten werden die Gewitter seltener; im westlichen Europa und in Deutschland kommen ungefähr 20 Gewitter auf das Jahr, in Petersburg und Moskau 17, in Stockholm 9, in Bergen 6; in noch nördlicheren Gegenden sind sie noch seltener, so daß oft mehrere Jahre vergehen, ohne daß man einmal donnern hört.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller im Laufe eines Jahres stattfindenden Gewitter auf den Sommer, auf den Winter ungefähr $^1/_{10}$. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, Wintergewitter aber sind hier eine Seltenheit; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitte 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen ungefähr 2—3 Gewitter auf den Winter und nur 1—2 auf den Sommer. Auch auf der Westküste von Nordamerika und den Ostküsten des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

Siebentes Kapitel.

Vom Erdmagnetismus.

232 Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte Erde ausübt, iſt durch die Declination, die Inclination und Intenſität beſtimmt. Mit raſtloſem Eifer haben gelehrte Reiſend allen Welttheilen und in den verſchiedenſten Gegenden der Meere d Elemente zu beſtimmen geſucht; die Reſultate ihrer Forſchungen hat n auf den Erdkarten durch drei verſchiedene Syſteme von Linien zuſamm gefaßt, welche man die iſogoniſchen, die iſocliniſchen und die i dynamiſchen genannt hat.

Die iſogoniſchen Linien ſind diejenigen, für welche in a Punkten die Declination dieſelbe iſt; ſolche Karten, in welche man iſogoniſchen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskart Die erſte Karte der Art hat Halley im Jahre 1700 conſtruirt. die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend ſich ändern, ſo kann ſolche Karte den Lauf der iſogoniſchen Linien nur für eine beſtimmte angeben; in der That weicht die von Hanſteen für das Jahr 1780 worfene Declinationskarte ſchon ſehr bedeutend von der Halley'ſchen und jetzt iſt natürlich der Lauf der iſogoniſchen Linien nicht mehr derſe wie er im Jahre 1780 war. Die neueſten Declinationskarten ſind Adolph Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die iſo niſchen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten W then der Declination conſtruirt; Barlow's Karte iſt für das Jahr 18 entworfen.

Die Karten Fig. 472, 473 und 474 ſtellen die iſogoniſchen Linien wie ſich ihr Lauf aus den nach der Gauß'ſchen Theorie des Erdmag tismus, von der alsbald die Rede ſeyn wird, berechneten Werthen Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwiſchen dem 70. Gr nördlicher und ſüdlicher Breite in Merkatorprojection, für die Umgebun der Pole aber, weil der Lauf der Kurven in der Nähe derſelben in di Projection zu ſehr verzerrt erſcheinen würde, in Polarprojection dargeſt wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intenſitätskarten Fall iſt.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine ſolche Linie, auf welche übe die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des aſtro

nischen Meridians zusammenfällt, schneidet die östliche Spitze von Südmerika ab, läuft östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirt

Fig. 472.

diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, tritt östlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspische Meer, schneidet die Ostspitze von

Arabien ab, wendet ſich dann nach Neuholland, um endlich durch magnetiſchen und aſtronomiſchen Südpol der Erde in ſich ſelbſt zu zulaufen.

In der Karte Fig. 472 erſcheinen zwei Stücke dieſer Linie getrenn

Fig. 473.

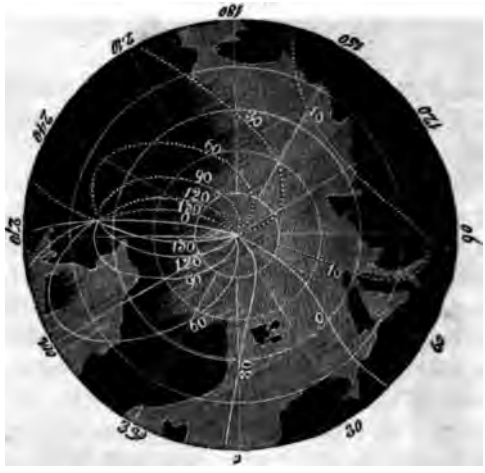
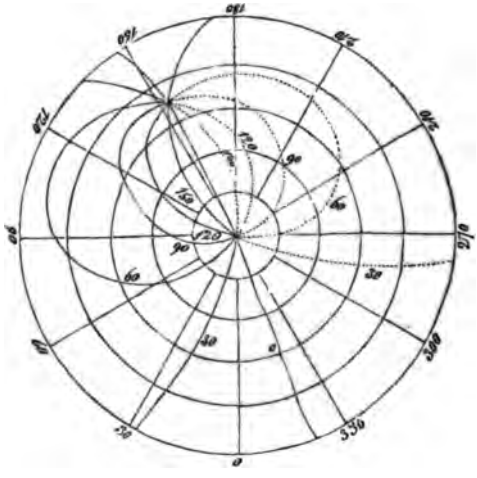


Fig. 474.



einander; die Verbindungsſtücke dieſer beiden Theile kann man auf Karten Fig. 473 und 474 verfolgen.

Dieſe Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumlä

theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantiſchen Ocean, in Europa und Afrika iſt die Abweichung der Magnetnadel überall eine weſtliche; auf der andern Hälfte iſt die Abweichung öſtlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im öſtlichen Aſien und dem angränzenden Meere, denn hier findet ſich eine zweite in ſich ſelbſt zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null iſt, und innerhalb des durch dieſe Kurve eingeſchloſſenen Raumes iſt die Abweichung wieder weſtlich.

In unſeren Karten ſind alle Kurven öſtlicher Abweichung punktirt; die Größe der Declination, welche einer jeden Kurve entſpricht, iſt ſtets beigeſchrieben.

In der Nähe der Pole bilden die iſogoniſchen Linien ein ziemlich complicirtes Syſtem, indem ſie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetiſchen und in dem aſtronomiſchen Pole, zuſammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetiſchen Erſcheinungen in jenen Gegenden ſo complicirt ſind, ſondern nur daher, daß bei der Beſtimmung der Declination ein dem Magnetismus ſelbſt eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des aſtronomiſchen Meridians, in Betrachtung zu ziehen iſt; durch dieſe Einmiſchung geht die Einfachheit verloren. Der magnetiſche Pol, in welchem alle iſogoniſchen Linien zuſammenlaufen, iſt allerdings ein magnetiſch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieſes Pols um denſelben einen Kreis gezogen, ſo wird für alle Punkte dieſes Kreiſes die horizontale Magnetnadel nach dieſem Pole hin gerichtet ſeyn; der Nordpol und der Südpol der Erde ſind aber durchaus keine magnetiſch ausgezeichneten Punkte, obgleich die iſogoniſchen Linien ſich in dieſen Polen ſchneiden; ſehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole ſelbſt fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel ſehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zuſammen; in der Nähe dieſes Pols rings um denſelben herum wird nun die Magnetnadel faſt ganz dieſelbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieſelbe Richtung der Magnetnadel macht alſo verſchiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zuſammenlaufenden Meridianen.

Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

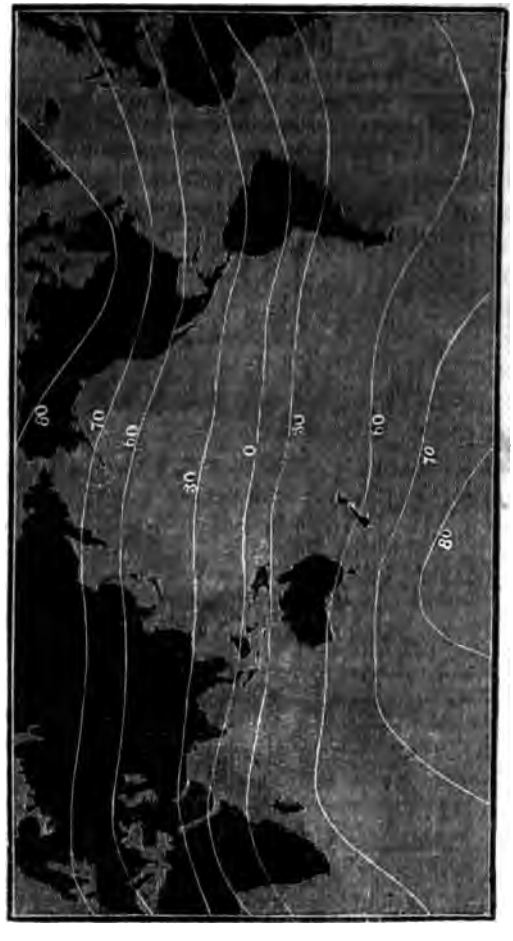
Dieſe Kärtchen können natürlich ſchon wegen ihrer Kleinheit keinen Anſpruch auf Genauigkeit machen, ihr Zweck iſt auch nur, ein Bild vom Laufe der magnetiſchen Kurven zu geben.

Die Karten Fig. 475, 476 und 477 ſtellen den Lauf der iſokliniſchen Linien dar. Die iſokliniſchen Linien verändern ſich im Laufe der

Zeit wie die iſogoniſchen. Die erſte Inclinationskarte wurde im 1780 von Hanſteen conſtruirt; der jetzige Lauf der iſokliniſchen weicht ſchon bedeutend von der damaligen Lage dieſer Linien ab.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich

Fig. 475.

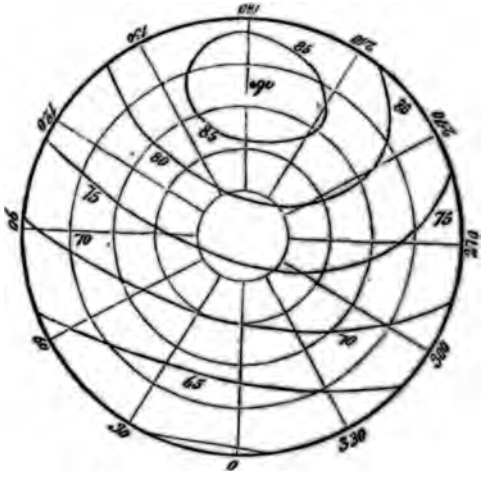


auf welcher alſo die Inclinationsnadel wagerecht ſteht, iſt der magnetiſche Aequator. Nördlich vom magnetiſchen Aequator iſt das ende, ſüdlich von demſelben iſt das Südende der Inclinationsnade unten gerichtet.

Die magnetiſchen Pole der Erde ſind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertikal ſteht, wo alſo der horizontale Antheil der magnetiſchen Erdkraft ganz verſchwindet. Solcher

Fig. 476

Fig. 477.

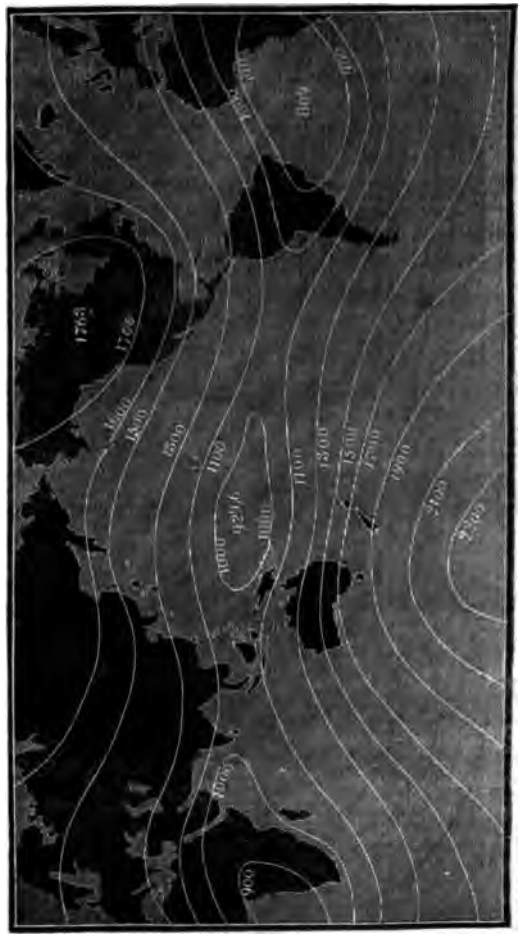


magnetiſchen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen ſüdlichen. Nach der Gauß'ſchen Theorie liegt der nördliche magnetiſche Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim ſüdlichen magnetiſchen Pole wird man, wie Gauß

bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verſchiebung zu erw
haben.

Man kann ſich über dieſe Differenzen zwiſchen der Rechnung und

Fig. 478.



Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, n
Gauß zur Ausführung ſeiner Theorie zu Grunde legen konnte,
mehr oder weniger ungenau ſind, daß die Angaben verſchiedener Beo
ter für einen und denſelben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß

annehmen könnte, dieſe Unterſchiede ſeyen den Veränderungen der erdmagnetiſchen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuſchreiben, welche zwiſchen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Die Größe der entſprechenden Inclination iſt jeder Kurve unſerer Figuren beigeſchrieben. Die mit 90 bezeichneten Punkte in Fig. 476 und 477 ſind die magnetiſchen Pole, es ſind dies dieſelben Punkte, in welchen die Declinationskurven in Fig. 473 und 474 zuſammenlaufen.

Die beiden magnetiſchen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, ſondern dieſe Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden Pole gelegten größten Kreiſe einen Bogen von 161° 13′ abſchneidet.

In den Karten Fig. 478, 479 und 480 ſind die iſodynamiſchen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intenſität aufgetragen. Man ſieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intenſität ein Maximum, d. h. größer als in allen rund herum gelegenen Orten iſt; ein ſolches Maximum der Intenſität findet ſich in Nordamerika etwas weſtlich von der Hudſonsbay, Fig. 478, ein zweites im nördlichen Aſien, Fig. 479. Dieſer Umſtand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Exiſtenz von zwei magnetiſchen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entſcheiden, ob dies wirklich der Fall iſt, muß man vor allen Dingen feſtſtellen, was man unter einem magnetiſchen Pole der Erde verſteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetiſche Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verſchwindet; man könnte aber unter einem magnetiſchen Pole auch eine ſolche Stelle verſtehen, für welche die Intenſität des Magnetismus ein Maximum iſt. Dieſe beiden Begriffe ſind aber nun durchaus nicht identiſch, es kann an einem Orte die horizontale Compoſante des Erdmagnetismus verſchwinden, die Inclinationsnadel kann ſich vertikal ſtellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intenſität zu finden iſt; umgekehrt kann an einem Orte die Intenſität des Erdmagnetismus ſehr wohl ein Maximum ſeyn, ohne daß ſich die Inclinationsnadel vertikal ſtellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, ſo giebt es nur einen magnetiſchen Nordpol. An dieſem Nordpole iſt die Intenſität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intenſität ein Maximum iſt, ſtellt ſich die Inclinationsnadel nicht vertikal, dieſe Orte ſind alſo nach unſerer Begriffsbeſtimmung keine magnetiſchen Pole.

Die den iſodynamiſchen Linien beigeſchriebenen Zahlen geben den Werth der Intenſität nicht nach dem ſchon im erſten Theile beſprochenen abſoluten

Maaße, ſondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, n
welcher die Intenſität für London 1,372 iſt; nur ſind dieſe Zahlen,

Fig. 479.

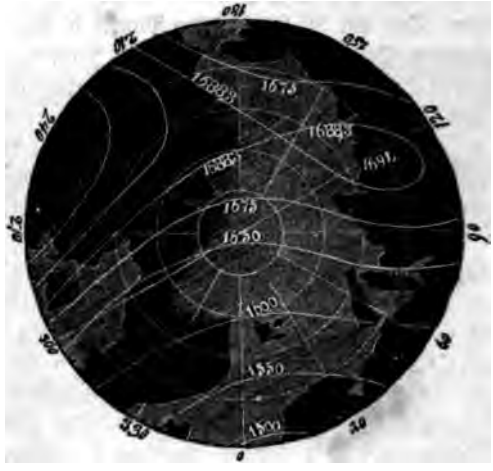
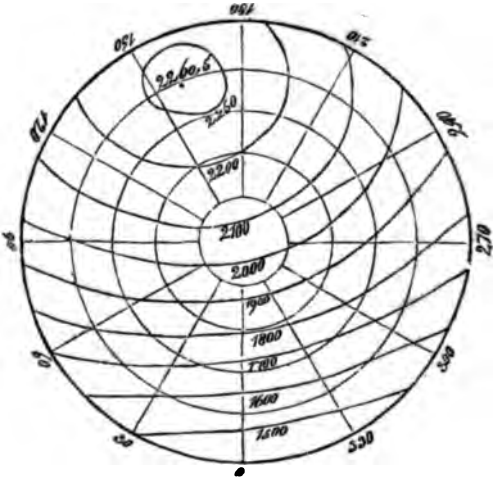


Fig. 480.



Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unſe
Karte auf das abſolute Maaß zu reduciren, ſind ſie nur mit 0,00349
zu multipliciren.

233 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachſte und älteſte Hyp
theſe, welche zur Erklärung der Erſcheinungen des Erdmagnetismus auf

ſtellt worden, iſt die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus ſey in der Erde ſo vertheilt, daß die Geſammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich ſey. Daß eine ſolche Annahme ſich mit den Beobachtungen nicht verträgt, ſieht man auf den erſten Blick. Nach dieſer Hypotheſe wären die magnetiſchen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieſelbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in dieſen Polen müßte zugleich die Intenſität ein Maximum ſeyn; der magnetiſche Aequator wäre ein größter Kreis, und alle iſocliniſchen Linien mit demſelben parallel u. ſ. w. Tobias Mayer hat dieſe Hypotheſe dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7. Theil des Erdhalbmeſſers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hanſteen verſuchte, die Erſcheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle dieſe Verſuche gaben jedoch keine genügenden Reſultate.

Gauß hat endlich einen andern Weg eingeſchlagen, indem er nicht wie ſeine Vorgänger von einer einfachen Hypotheſe über die magnetiſche Vertheilung in der Erde ausging und dann die Reſultate dieſer Hypotheſe mit der Erſcheinung verglich, ſondern er ſuchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieſer große Magnet beſchaffen ſeyn, um den Erſcheinungen Genüge zu leiſten?

Die Gauß'ſche Theorie läßt ſich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es ſich hier darum handelt, das Zuſammenwirken aller magnetiſchen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt ſind, in mathematiſchen Formen darzuſtellen; wir müſſen uns alſo darauf beſchränken, die Grundideen dieſer Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauß'ſchen Theorie iſt die Vorausſetzung, daß die erdmagnetiſche Kraft die Geſammtwirkung der magnetiſirten Theile des Erdkörpers iſt. Das Magnetiſirtſeyn ſtellt er ſich als eine Scheidung der magnetiſchen Flüſſigkeit in der Weiſe vor, wie wir dies ſchon im zweiten Bande, Seite 9, entwickelt haben. Eine Vertauſchung dieſer Vorſtellungsart mit der Ampère'ſchen würde in den Reſultaten nichts ändern. Dies vorausgeſetzt, wird die Geſammtheit aller magnetiſirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine beſtimmte Wirkung ausüben, und dieſe Wirkung wird von einem Punkte des Raums zum andern ſich ändern müſſen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächſt iſt demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt ſeyn mag, die Wirkung wird in verſchiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieſelbe ſeyn, ſie wird von der geographiſchen Länge und Breite des Ortes abhängen, den

man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und Breite die veränderlichen Größen sind, die Constanten dieser Gleichun aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauß auf diese Weise eine Gleichung für Werth des magnetischen Potentials, einer Größe, aus welcher die Werthe der nördlichen, westlichen und vertikalen Componente der magnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclinat und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine w tige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend ei Stelle der Erdoberfläche eine vertikale Röhre angebracht, deren Quersch 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in cher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmag tischem Fluidum in der Weise gefüllt, daß jedes Kubikmillimeter 1 M (nach der bekannten absoluten Einheit) dieses Fluidums enthält, so uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden d Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluid von dem Erdmagnetismus abgestoßen werden würde, hat man sich Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denk

In den Karten Fig. 481, 482 und 483 sind die Linien gleicher We des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen be hen sich nicht auf absolutes Maaß, sondern auf die bekannte willkürl Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolu Maaß reducirt werden.

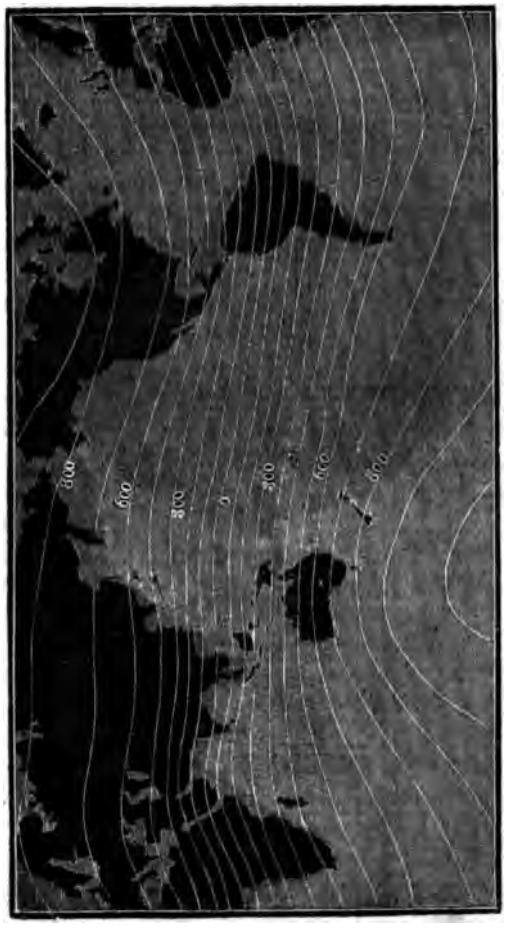
Die Kurven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Ga gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwinklig auf Gleichgewichtslinien stehen muß. Aus dem Laufe dieser Kurven kann n die Richtung der Bousole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine gleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der clinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizonta Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf ei Karte nur solche Glgichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differen des magnetischen Potentials entsprechen, wie dies z. B. in der Ka

Fig. 481 der Fall ist, wo die Kurven den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale

Fig. 481.



Intensität der Entfernung der Gleichgewichtskurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am größten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Kurven auseinanderrücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Aus der horizontalen Intenſität ergiebt ſich leicht die nördliche weſtliche Compoſante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien die Richtung der horizontalen magnetiſchen Kraft beſtimmt iſt.

Aus den Werthen des magnetiſchen Potentials ergeben ſich au Werthe der vertikalen Intenſität; doch können wir dieſen Zuſammen

Fig. 482.

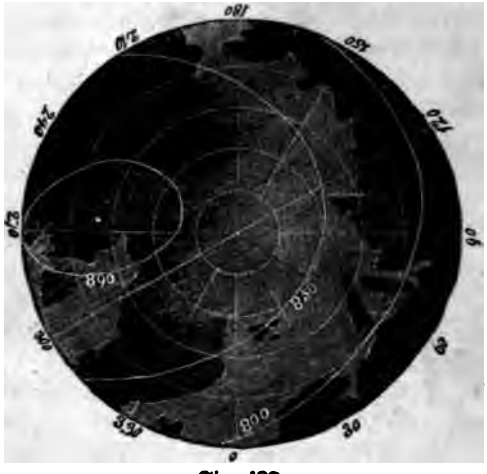
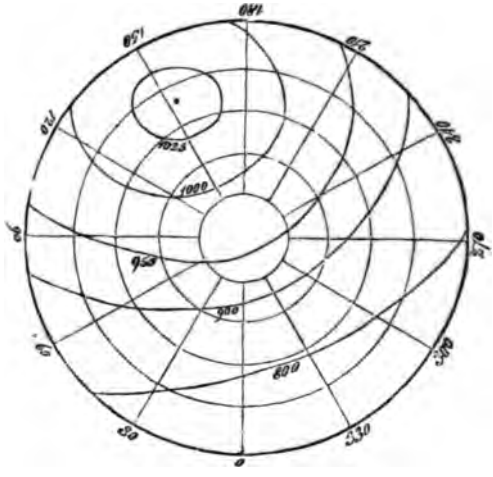


Fig. 483.



hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erſt die drei Compoſanten erdmagnetiſchen Kraft beſtimmt, ſo kann man auch noch leicht die G und Richtung der ganzen Intenſität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die Componenten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch sichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen ge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachzt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coëfficienten zu bemen. Diese Coëfficienten können wir nun nicht a priori aus der theilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist; 24 Coëfficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verdenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der lemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberje würden also hinreichen, um die 24 Coëfficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coëfficienten bekannt, so kann man nach erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Componenten der erdgnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man die Länge und Breite die diesem Orte entsprechenden Zahlenwerthe in Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente Erdmagnetismus für 8 weit genug von einander entfernte Orte der doberfläche fehlt, so muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, eigentlich zur Bestimmung der Coëfficienten nöthig sind. Auf diese eise werden sich für denselben Coëfficienten mehrere verschiedene Werthe geben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coëfficienten zu ermitteln.

Das Nordlicht gehört unstreitig zu den prächtigsten, aber auch zu 234
n räthselhaftesten Erscheinungen; es wird hier, wie dies gewöhnlich gesieht, im Kapitel vom Erdmagnetismus abgehandelt, weil es mit demben in einer gewissen Beziehung zu stehen scheint, indem das Phänoen stets in der Richtung des magnetischen Meridians beobachtet wird d sein Erscheinen in der Regel bedeutende Oscillationen der Declinaonsnadel veranlaßt.

In unseren Gegenden ist die Erscheinung des Nordlichts ziemlich sen; sehr schöne Nordlichter wurden in Deutschland unter anderen am 7. anuar 1831 und im Februar 1836 beobachtet. Fig. 484 (a. f. S.) ll das Nordlicht darstellen, wie es gewöhnlich bei uns gesehen wird; es t jedoch zu bemerken, daß es schwierig ist, durch Beschreibung und Abildung eine recht klare Vorstellung des Phänomens zu geben.

In höheren Breiten, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und merika sind die Nordlichter weit häufiger und ungleich prächtiger als ei uns.

Möge es erlaubt ſeyn, hier die Beſchreibung eines Nordlichtes
zu laſſen, wie es Lottin beobachtete. Das meteorologiſche Obſ
rium, auf welchem Lottin 8 Monate, vom September 1838 bi

Fig. 484.

April 1839 zubrachte, war zu Boſſekop auf der Küſte von Weſt
mark unter dem 70. Grade nördlicher Breite aufgeſchlagen worden
206 Tagen beobachtete man daſelbſt 143 Nordlichter, und zwar 6
rend der längſten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. No
bis zum 25. Januar dauert.

»Des Abends zwiſchen 4 und 8 Uhr färbt ſich der obere Th
leichten Nebels, welcher faſt beſtändig nach Norden hin in einer Hö
4 bis 6° herrſcht; dieſer lichte Streifen nimmt allmälig die Geſtal
Bogens von blaßgelber Farbe an, deſſen Ränder verwaſchen erſchein
deſſen Enden ſich auf die Erde aufſtützen.

»Dieſer Bogen ſteigt allmälig in die Höhe, während ſein Gipf
nahe in der Richtung des magnetiſchen Meridians bleibt.

»Bald erſcheinen ſchwärzliche Streifen, welche den lichten Boge
nen, und ſo bilden ſich Strahlen, welche ſich bald raſch, bald l
verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieſer Strahlen zeigt
den lebhafteſten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regeln
Bogen. Die Länge der Strahlen iſt ſehr verſchieden, ſie convergire
nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des
endes der Inclinationsnadel angedeutet iſt. Manchmal verlängern

hlen bis zu dieſem Punkte und bilden ſo ein Bruchſtück eines unge-
en Lichtgewölbes.

Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu ſteigen; in ſeinem
ge zeigt ſich eine undulatoriſche Bewegung, d. h. der Glanz der
hlen wächſt der Reihe nach von einem Fuße zum andern; dieſe Art
ſtrom zeigt ſich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von We-
nach Oſten als in entgegengeſetzter Richtung. Manchmal, aber ſelten,
die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erſte, und wenn der
ng der Reihe nach alle Strahlen von Weſten nach Oſten durchlaufen
nimmt ſeine Bewegung eine entgegengeſetzte Richtung an und kehrt
einem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht ſagen
n, ob die Strahlen ſelbſt eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob
der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen
Stelle verändern.

Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche
Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes
einer Fahne nicht unähnlich iſt. Manchmal verläßt einer der Füße
ſelbſt beide den Horizont; dann werden dieſe Biegungen zahlreicher
deutlicher; der Bogen erſcheint nur als ein langes Strahlenband,
ches ſich entwickelt, ſich in mehrere Theile trennt und graziöſe Windun-
bildet, welche ſich faſt ſelbſt ſchließen und das bilden, was man wohl
Krone genannt hat. Alsdann ändert ſich plötzlich die Lichtintenſität
Strahlen, ſie übertrifft die der Sterne erſter Größe; die Strahlen
eßen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln ſich, wie
Windungen einer Schlange; nun färben ſich die Strahlen, die Baſis
roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht.
eſe Farben behalten immer ihre gegenſeitige Lage und haben eine be-
nderswürdige Durchſichtigkeit. Das Roth nähert ſich einem hellen
utroth, das Grün einem blaſſen Smaragdgrün. —

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verſchwinden, die ganze Erſcheinung
ſcht entweder plötzlich, oder ſie wird nach und nach ſchwächer. Einzelne
ücke des Bogens erſcheinen wieder, er bildet ſich von Neuem, er ſetzt
ne aufſteigende Bewegung fort und nähert ſich dem Zenith; die Strah-
erſcheinen durch die Perſpective immer kürzer, alsdann erreicht der
ipfel des Bogens das magnetiſche Zenith, einen Punkt, nach welchem
Südſpitze der Inclinationsnadel hinweiſ't. Nun ſieht man die Strah-
von ihrem Fuße aus. Wenn ſie ſich in dieſem Augenblicke färben, ſo
gen ſie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne
irbung der oberen Theile erblickt. — — —

»Unterdeſſen bilden ſich neue Bogen am Horizonte, welche entweder an-
ngs verſchwommen erſcheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet ſind.
ie folgen einander, indem alle faſt dieſelben Phaſen durchlaufen und in
ſtimmten Zwiſchenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu
gezählt, welche, auf die Erde geſtützt, durch ihre Anordnung an die obe-
n Couliſſen unſerer Theater erinnern, die, auf die Seitencouliſſen geſtützt,
n Himmel der Theaterſcene bilden. Manchmal werden die Zwiſchen-
ume kleiner, mehrere dieſer Bogen drängen einander. — So oft die

Strahlen am hohen Himmel das magnetiſche Zenith überſchritte
ſcheinen ſie von Süden her nach dieſem Punkte zu convergiren u
alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentlich
Die Erſcheinung der Krone iſt ohne Zweifel nur eine Wirkung
ſpective, und ein Beobachter, welcher in dieſem Augenblicke we
Süden hin ſich befindet, wird ſicherlich nur einen Bogen ſehen kö

»Denkt man ſich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen
beſtändig ſowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren G
ändern, daß ſie die herrlichſten rothen und grünen Farbentöne zei
eine wellenartige Bewegung ſtattfindet, daß Lichtſtröme einande
und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure
Lichtkuppel zu ſeyn ſcheint, welche über einen mit Schnee bedeckte
ausgebreitet iſt und einen blendenden Rahmen für das ruhige M
det, welches dunkel iſt wie ein Aſphaltſee, ſo hat man eine unvol
Vorſtellung von dieſem wunderbaren Schauſpiele, auf deſſen Beſ
man verzichten muß.

»Die Krone dauert nur einige Minuten; ſie bildet ſich m
plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten ſi
zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur dav

»Die Krone wird ſchwächer, das ganze Phänomen iſt nun ſüdl
Zenith, immer blaſſere Bogen bildend, welche in der Regel verſc
ehe ſie den ſüdlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet n
Alles nur in der erſten Hälfte der Nacht; nachher ſcheint das
ſeine Intenſität verloren zu haben, die Strahlen ſcheinen verwaſ
bilden ſchwache, unbeſtimmt begränzte Lichtſchimmer, welche endli
nen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt ſind. — Allm
ſcheint die Morgenröthe, die Erſcheinung wird immer ſchwächer u
lich ganz unſichtbar.

»Manchmal ſieht man die Strahlen noch, wenn der Tag ſch
brochen, wenn es ſchon ſo hell iſt, daß man leſen kann; dann a
ſchwinden ſie ſchnell, oder ſie werden vielmehr um ſo beſtimmter,
die Helligkeit zunimmt, ſie nehmen eine weißliche Farbe an unl
ſchen ſich ſo mit den Cirroſtratus, daß man ſie nicht mehr vo
Wolken unterſcheiden kann.«

Dies iſt die Erſcheinung des Nordlichts, wenn ſie ſich in ihre
Pracht entwickelt, aber, mag nun der Zuſtand der Atmoſphäre, o
gen die Umſtände, welche die Erſcheinung veranlaſſen, nicht imn
günſtig ſeyn, ein vollſtändiges Nordlicht wird ſelbſt in den Polar
nur ſelten beobachtet. Bald iſt die Krone, bald ſind die Bogen
ſtändig; oft wird das Licht durch Wolken aufgefangen, welche a
nigfache Weiſe die regelmäßige Geſtalt des Nordlichts modificiren.
bemerkt alsdann nach Norden hin nur ein ungewöhnliches Licht
es iſt verſchwommen, die Erſcheinung iſt undeutlich.

Aehnliche Erſcheinungen ſind von Seefahrern auch in den Pol
den der ſüdlichen Hemiſphäre beobachtet worden. Man kann ſie
lichter nennen.

Nachträge.

1.

ohr's Methode zur Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten.

Mohr beschreibt in seinem »Lehrbuch der pharmaceutischen Technik,« welchem sich, nicht allein für den Pharmaceuten, sondern auch für den itenden Physiker und Chemiker sehr viel Wichtiges findet, folgende e Methode das specifische Gewicht von Flüssigkeiten zu bestimmen. Man theile die eine Hälfte des Balkens einer sehr guten Receptir- ge von 9½ Zoll (250mm) Länge von der mittleren Schneide bis zu enigen, auf welcher die eine Wagschale hängt, in 10 gleiche Theile. : Theilstriche werden an der oberen geraden Kante des Wagbalkens einer zarten Feile eingerissen, und von der Mitte anfangend mit den len 1 bis 9 bezeichnet, wie dies Fig. 485 (a. f. S.) angedeutet ist. Man zieht nun eine kleine Glasröhre, wie sie Fig. 486 (a. f. S.) natürlicher Größe dargestellt ist, in eine lange Spitze aus, füllt so : Quecksilber oder feine Schrote hinein, daß sie in einer Flüssigkeit vom cifischen Gewicht 2 noch untersinken muß, schmilzt die Spitze zu, biegt sie zu einem Ohre um. In dieses Ohr schlingt man einen nen Platindraht von 5 Zoll (130mm) Länge, an dessen anderem Ende n ein leichtes Messingringelchen befestigt. Mit diesem Ringe wird das nkgläschen statt der einen Wagschale am getheilten Arm der Wage an- hängt, wie man Fig. 485 sieht. An dem anderen Arme der Wage ngt eine leichte Schale mit einem kleinen Döschen, in welches so viel gengewicht geworfen wird, daß dadurch die Senkröhre genau äquili- rt wird.

Nachdem nun ein Champagnerglas mit deſtillirtem Waſſe richtigen Temperatur untergeſtellt worden iſt, wird ein in ſtum

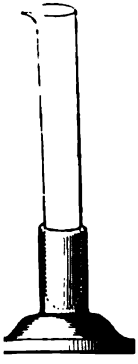
Fig. 485.

kel gebogenes Stück Meſſingdraht an den Haken gehängt, an das Senkgläschen aufgehangen iſt. Mit Hülfe der Kneifzange letzt der Feile macht man dieſes Drahtſtück genau ſo ſchwer, Gleichgewicht wieder hergeſtellt wird, welches durch das Eintau Gläschens in das Waſſer geſtört worden war. Der genau a Meſſingdraht hat nun genau das Gewicht des durch das Sen verdrängten Waſſers.

:r Meſſingdraht wird nun in einem etwas ſpitzeren Winkel als vor-
ebogen, und oben in ſeinem Buge mit einem glatten Hammer platt
ſcharf geſchlagen, damit er mit Schärfe in die Einſchnitte des Wage-
ns einſpielt. Solcher Drähte werden zwei, und alsdann noch ein
r angefertigt, deſſen Gewicht genau $^1/_{10}$ von dem Gewichte eines der
rn Drähte beträgt.

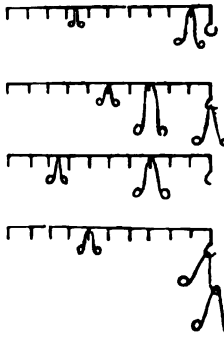
er Gebrauch dieſer Wage iſt nun folgender. Man füllt das Cham-

Fig. 487.



pagnerglas oder die Glasröhre Fig. 487, bis zu einem beſtimmten, mit dem Diamantſplitter markirten Striche an, läßt das Gläschen eintauchen und ſchiebt den dicken Draht ſo lange auf dem Balken mit einer Pincette fort, bis das Gleichgewicht eingetreten iſt. Wenn das ſpecifiſche Gewicht kleiner als 1 iſt, ſo findet man auf dem Balken eine Stelle, die dieſer Bedingung entſpricht. Geſetzt aber, dieſe Stelle läge zwiſchen zwei Zahlen, ſo müßte man die Entfernung auf Augenmaß abſchätzen. In dieſem Falle hängt man den ſchweren Draht auf die zunächſt kleinere Zahl, und ſtellt nun den kleinen fehlenden Reſt des Gleichgewichts mit dem kleinen Drahte her. Trifft dieſer Punkt zwiſchen zwei Zahlen, ſo ſchätzt man
: Entfernung nach Augenmaß auf Zehntel. Die Zahl, wo der große
ıht hängt, iſt die erſte Decimalſtelle, die, wo der kleine Draht hängt,
zweite, und wenn dieſer zwiſchen zwei Zahlen hängt, ſo iſt die nächſte
)l nach der Mitte der Wage die zweite Decimale, und die in Zehnteln

Fig. 488.



geſchätzte Entfernung von dieſer Zahl an die dritte Decimalſtelle. In Fig. 485 zeigen die beiden Drähte das ſpecifiſche Gewicht 0,850 an. In Fig. 488 zeigen die nebenſtehenden Zahlen die ſpecifiſchen Gewichte an, die auf dem Wagebalken bei der jedesmaligen Lage der Drähte ſich ergaben. Wenn das ſpecifiſche Gewicht größer als 1 und kleiner als 2 iſt, ſo hängt einer der ſchweren Drähte auf der Zahl 10, d. h. an dem Haken der Schneide, worauf das Senkgläschen hängt. Der
ıeite dicke Draht giebt, wie oben, die erſte Decimale an, der kleine die
ıeite und dritte. Wegen der Dünnheit des Platindrahtes zum Aufhän-
n iſt dieſe Beſtimmungsmethode ungemein ſcharf. Sie geht bei guten

Wagen ganz leicht auf die dritte Decimalſtelle, im ganzen auf die Stelle.

Dieſe Wägungen gehen ungemein raſch vor ſich, und werden ohne Berechnung direct abgeleſen. In einem unten etwas beilaufenden Papagnerglaſe bedarf man nur 6 Drachmen Waſſer, um den Senkel frei ſpielen zu laſſen. Ein gleich großes Volum jeder anderen Flüſſigkeit genügt natürlich auch.

Mohr hat dieſen Apparat noch weiter vervollkommnet, ſo daß das ſpecifiſche Gewicht bis auf die 4te Decimalſtelle genau angeben läßt. Er wendet dazu eine ungleicharmige Wage an; der längere Arm iſt etwa 300mm, der kürzere etwa 100mm lang; am Ende des längeren, der in 100 gleiche Theile getheilt iſt, wird das Senkgläschen angehängt. Der kurze Arm endigt mit einer Schraube, auf welcher ein Laufgewicht von Meſſing ſo geſtellt werden kann, daß es das Senkglas gerade tarirt.

Der Gebrauch dieſes Apparates iſt nach dem Vorhergehenden ganz klar.

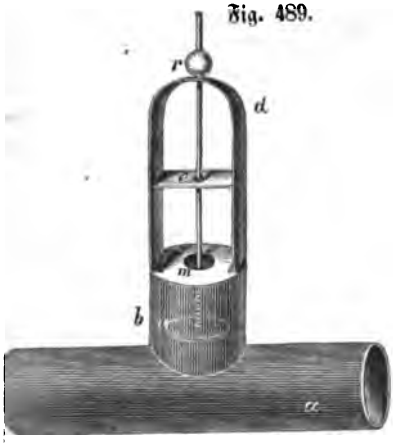
9.

Mohr's Stoßheber.

Der auf S. 257 des erſten Bandes beſprochene hydrauliſche Heber, oder, wie man ihn auch nennt, der Stoßheber, gehört gewiß den inſtructivſten phyſikaliſchen Vorrichtungen, und es iſt deshalb wünſchenswerth, die Wirkung deſſelben durch Modelle auch in phyſikaliſchen Kabinetten zeigen zu können; die bis jetzt conſtruirten Modelle des Stoßhebers ſind aber unverhältnißmäßig koſtſpielig. Die in Folgendem beſchriebene, von Dr. Mohr in Koblenz herrührende Vorrichtung wird deshalb manchem Lehrer der Phyſik willkommen ſeyn.

Mohr's Stoßheber kann leicht aus Glasröhren und einem meſſingenen Ausflußventilchen hergeſtellt werden. Letzteres, in Fig. 489 (a. f. S.) dargeſtellt, iſt die Hauptſache daran. Es wird aus dünnem Meſſingbleche vom Spengler oder Mechaniker hergeſtellt. Auf der horizontalen Röhre *a* ſitzt ſenkrecht das kurze Röhrchen *b*, oben mit einer Schraube geſchloſſen, in der ſich ein kleines Loch *m* befindet. Durch dieſes Loch geht der Stiel des Ventilchens *c*, deſſen Scheibe, als unſichtbar punktirt angedeutet iſt. Der Stiel hat in dem Bügel *d* und dem Metallſtreifchen *e* ſenkrechte und gerade Führung.

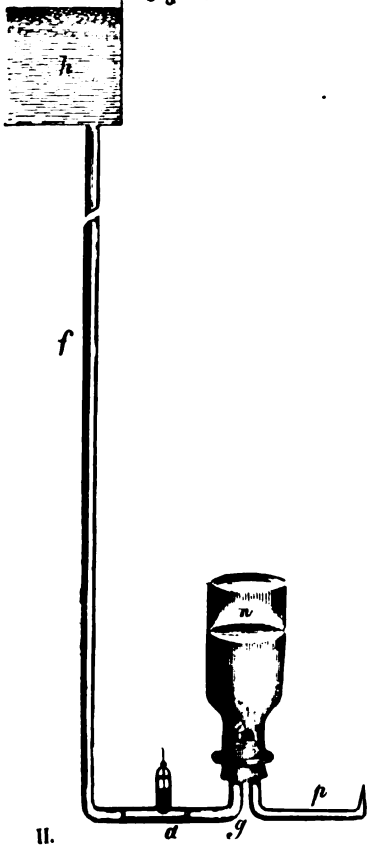
Fig. 489.



Dieſes Ventilchen iſt in die Mitte zweier Glasröhren eingekittet, wie es Fig. 490 darſtellt.

Die ſenkrechte Röhre führt das Waſſer herab. Daſſelbe ſtrömt zu der kleinen Oeffnung *m* (Fig. 489) heraus, und die ganze herabſinkende Waſſerſäule nimmt eine Beſchleunigung an, womit ſie endlich das Ventilchen *c* hebt, und gegen die obere Platte der Röhre *b* (Fig. 489) antreibt; damit iſt hier der Ausfluß gehemmt, und die ganze in heftiger Bewegung begriffene Waſſerſäule ſtößt an dem Ventil vorbei in den Windkeſſel *w*, (Fig. 490), indem ſie das auf der Glasröhre *g* ruhende Ventil aus Leder augenblicklich hebt. Der Ausfluß aus dieſem Windkeſſel durch die Röhre *p* iſt aber ſo klein, im Verhältniß zum Zuſtrömen durch die weite Röhre *g*, daß der Windkeſſel bald kein Waſſer mehr aufnimmt, wodurch ſich das Ventil des Windkeſſels wieder ſchließt. Die comprimirte Luft im Raume *w* dehnt ſich aber im folgenden Augenblicke aus, und wirft einen Waſſerſtrahl aus der Röhre *p* aus. Indem aber der Windkeſſel kein Waſſer mehr aufnahm, war der Stoß der Waſſerſäule ganz gehemmt, und das Ventil *c* ſank wieder herunter, damit fing hier der Ausfluß bei *m* wieder an, und ihm folgten der Reihe nach dieſelben Erſcheinungen.

Fig. 490.



Je größer die Oeffnung *m* im Ventile (Fig. 489) iſt, deſto nigter wird das Waſſer ſinken, und deſto ſtärker der Stoß in d keſſel gehen, deſto höher auch das Waſſer aus *p* ſpritzen. Läßt Ventilchen *c* nur wenig ſinken, was man mit dem verſchiebbare chen *r* (Fig. 489) reguliren kann, ſo folgen die Stöße raſch au Beſchwert man das Ventil *c* oben, ſo wird es bei einer gröſ ſchwindigkeit erſt ſteigen und deshalb das Waſſer höher aus *p* a

Füllt man den Windkeſſel *w* faſt ganz mit Waſſer an, ſo Stöße raſcher aufeinander, und das Waſſer ſpritzt höher, als Windkeſſel mit Luft gefüllt iſt.

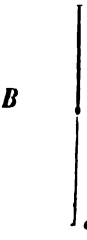
Der ſcheinbare Wiederſpruch, daß das Waſſer aus *p* höher ſ es in *a* herabſinkt, löſ't ſich durch die Betrachtung, daß nicht a ſer zu dieſer Höhe gelangt, ſondern ein großer Theil unten mit ringer Bewegung ausfließt. Die an dieſem verſchwindende W erſcheint an der kleinen Menge des ausgeſpritzten als vermehrte

3.

Bunſen's Photometer.

Das Princip dieſes Photometers beruht auf dem Umſtande, daß gleich transparente Fläche nur dann von homogener Helligkeit wenn ſie von beiden Seiten Lichtmengen von gleicher Intenſität e daß dagegen der transparente Theil gegen den weniger transpare dem Auge an der Seite dunkel darſtellt, wo die Intenſität de leuchtenden Lichtes überwiegt. Wird z. B. ein Blatt ſtarkes Z pier, welches von *a* bis *b* mit Stearinſäure getränkt iſt, von bei

Fig. 491.



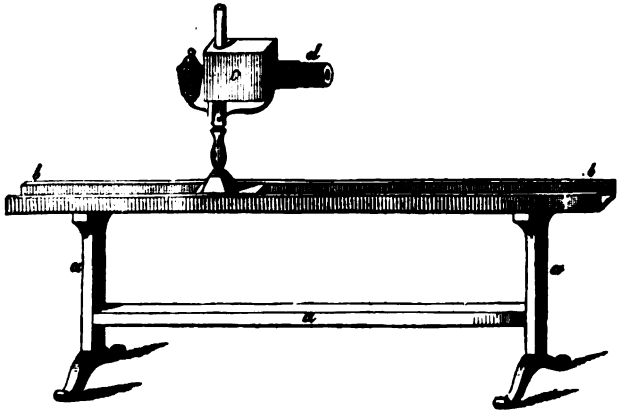
ten durch zwei Lichtquellen *A* und *B* gleic erleuchtet, ſo erſcheint der getränkte und nicht Theil von gleicher Helligkeit und beide laſſen durch das Auge von einander unterſcheiden.

ſache dieſer Erſcheinung iſt leicht verſtändlic faßt man z. B. die von *B* aus erleuchtete Fl Auge, ſo ſieht man ſogleich, daß ſie (der Ei wegen von parallelen Strahlen erhellet geda allen Punkten eine gleiche Lichtmenge empfä theils zurückgeworfen, theils je nach dem G Transparenz hindurchgelaſſen wird. Denkt man ſich nun zun Lichtquelle *A* hinweg, ſo wird die Papierfläche, trotz der gleiche

i *B* aus auffallenden Lichtmenge, nicht homogen, ſondern bei *ab* dun- und bei *bc* hell erſcheinen, weil bei *ab* mehr Licht durch das trans- rentere Papier verloren geht, als bei *bc*. Denkt man ſich dagegen das pier von der Seite *A* her gleich ſtark beleuchtet, ſo muß der Verluſt an lligkeit, welchen die *B* zugekehrte Seite des Papiers erleidet, durch das i *A* her durchgelaſſene an Intenſität äquivalente Licht genau compenſirt rden und die Papierfläche gleich hell erſcheinen, wie ungleich ihre Trans- renz bei *ab* und *bc* auch ſein mag. Durch eine ähnliche Betrachtung ßt ſich beweiſen, daß, wenn von *A* her intenſiveres Licht auffällt als von das transparentere Papierſtück *ab* von *B* geſehen heller, und umge- hrt, wenn von *A* her weniger Licht kommt als von *B*, dunkler erſchei- n muß als *bc*.

Die Einrichtung des auf dies Princip gegründeten Photometers iſt fol- nde: *aa*, Fig. 492, iſt ein hölzernes Geſtell, welches die am Rande

Fig. 492.



mit einer Maaßeintheilung verſehene Rinne *bb* trägt, in der der Photo- meterkaſten *c* ſich ſo verſchiebt, daß er in beliebige Entfernungen von der zu unterſuchenden Lichtquelle gebracht werden kann. Der inwendig ge- ſchwärzte Photometerkaſten *c* enthält eine möglichſt conſtante Lichtquelle, etwa eine argand'ſche Lampe, und iſt mit einem Auszugsrohre *d* verſehen, deſſen äußere Oeffnung durch ein transparentes Papier-Diaphragma ver- ſchloſſen iſt. Dieſes Diaphragma beſteht in einem weißen, mit Stearin- ſäure getränkten Zeichenpapier, in deſſen Mittelpunkte ein kleiner nicht getränkter Ring von dem Umfange einer Erbſe frei gelaſſen iſt. Um dies zu bewerkſtelligen legt man das Papier auf eine erwärmte Platte und reibt geſchmolzene Stearinſäure (von einem Stearinlichte) in immer

engeren Kreiſen mit dem Finger darauf umher, bis noch eine kleine getränkte Kreisfläche übrig bleibt. Legt man in den Mittelpunkt ſer Kreisfläche ein Körnchen Stearin, während das Papier auf heißen Unterlage liegt, ſo gelangt man leicht dahin, einen kleinen r mäßigen ungetränkten Ring auf dem gleichmäßig vom Stearin di drungenen Papiere herzuſtellen.

Betrachtet man das Diaphragma, während es durch eine möglichſt ſtante Lichtquelle im Inneren des Kaſtens erhellet iſt, von einem dun Raume aus, ſo erſcheint der ungetränkte Ring des Papiers ſchwarz weißem Grunde. Bringt man ein Licht vor das Diaphragma, ſo i der dunkle Ring in dem Maße heller, als ihm das Licht näher und n rückt, bis er in einer gewiſſen Entfernung völlig verſchwindet, und noch größerer Näherung des Lichtes hell auf dunklerem Grunde der zum Vorſchein kommt. Die Durchgangsphaſe, wo der Ring verſch det, läßt ſich daher ſehr ſcharf beſtimmen. Hat man den Photometer ſten der zu unterſuchenden Lichtquelle ſo weit genähert, daß man Ring auf dem Diaphragma nicht unterſcheiden kann, daß er alſo w heller noch dunkler erſcheint, als der Grund, ſo erhält man das un kehrte Intenſitätsverhältniß der zu vergleichenden Lichtquellen, d. h. im Kaſten und derjenigen, welche von Außen her das Diaphragma ſcheint, wenn man die Entfernung derſelben vom Diaphragma mißt auf's Quadrat erhebt.

Um die Intenſität etwas verſchieden gefärbten Lichtes zu vergleid reicht es hin, das Inſtrument weniger empfindlich zu machen, d. h. Unterſchied der Transparenz durch Anwendung eines dickeren Papi zu verringern. Die Wirkung, welche dadurch erreicht wird, iſt leicht ſichtlich. Denn denkt man ſich z. B. die vordere Fläche durch röthli Licht, die hintere aber durch weißes erhellet, ſo wird an den transpare ſten Theilen ſtets eine größere Menge durchgelaſſenes rothes Licht di weißes von der anderen Seite her erſetzt, während der weniger trans rente Theil weniger rothes Licht hindurchläßt, was durch weißes von l ten erſetzt wird. Der transparentere Theil erſcheint daher ſtets ei blaſſer roth gefärbt als der andere. Verringert man aber den Unterſd in der Durchſcheinheit, ſo wird der Farbenunterſchied für das Auge n und nach verſchwindend, während man den Uebergang von Hell in D kel noch deutlich wahrnehmen kann. Statt ein ſtärkeres Papier an wenden, iſt es in ſolchen Fällen noch beſſer, daß Diaphragma zwiſc zwei mattgeſchliffene Glasplatten zu bringen.

4.

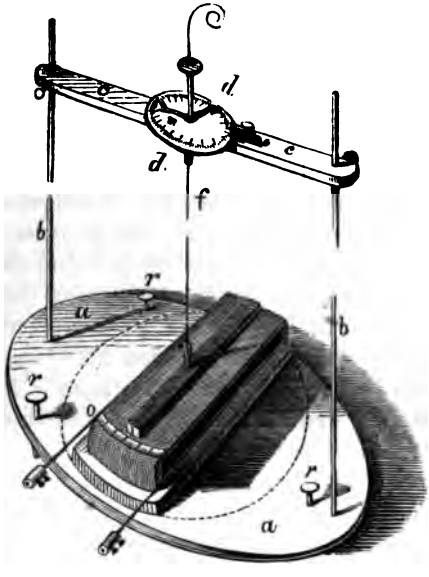
Mohr's Torſionsgalvanometer.

Die Sinusbouſſole ſowohl als auch die Tangentenbouſſole, welche die einzigen Inſtrumente ſind, welche man bis jetzt zur Meſſung der galvaniſchen Stromſtärke anwandte, leiden noch an mehrfachen Uebelſtänden. Die Stromſtärke iſt bekanntlich nicht der an der Sinus- und Tangentenbouſſole abgeleſenen Gradzahl, ſondern einer trigonometriſchen Function dieſer Gradzahl proportional, man kann alſo aus den beobachteten Zahlen nur mit Hülfe von trigonometriſchen Tabellen auf die Stromſtärke ſchließen. In Folge davon, daß die Stromſtärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional iſt, entſprechen nun auch gleiche Differenzen in der Gradzahl an verſchiedenen Stellen der Theilung nicht gleichen Differenzen der Stromſtärke; die Genauigkeit der Angaben iſt alſo für verſchieden ſtarke Ströme nicht mehr gleich. Für die Tangentenbouſſole ſind die Angaben für Ströme, welche nur eine geringe Ablenkung hervorbringen, weit genauer als für ſtärkere Ströme; bei der Sinusbouſſole iſt es umgekehrt. Die Ungleichheit der Genauigkeit der Angaben bei ungleichen Stromſtärken iſt namentlich bei den Tangentenbouſſolen ſehr bedeutend, indem bei ſtarken Ablenkungen eine ſehr große Veränderung der Stromſtärke doch nur eine unbedeutende Veränderung im Ablenkungswinkel zur Folge hat. Die Sinusbouſſole iſt für ſtärkere Ströme gar nicht mehr anwendbar, weil die Nadel gar bald rechtwinklig auf dem Meridian ſteht. Von allen dieſen Uebelſtänden iſt Mohr's Torſionsgalvanometer frei, welches ſich auch dadurch auszeichnet, daß ſeine Conſtruction einfach und leicht auszuführen iſt.

Bei der Aufſuchung einer paſſenden Torſionsſubſtanz traten mehrere Schwierigkeiten entgegen. Seidenfäden haben zu wenig Kraft, Glasfäden zerbrechen bei einigen Windungen, oder ſind ſo dünn, daß ſie keine ſtarke Nadeln tragen. Drähte von Silber, Platin, Eiſen haben nicht Elaſticität genug, um nach mehreren Umdrehungen genau wieder auf 0 zu kommen. Die einzige allen Anforderungen entſprechende Subſtanz war eine gerade geſtreckte Uhrfeder. Sie iſt bei ½ Meter Länge bis zu

drei und vier ganzen Umwindungen vollkommen elastisch, d. h. sie kommt nach dem Nachlassen genau wieder auf 0 zurück; sie besitzt Festigkeit genug, um einer ansehnlichen Drehkraft zu widerstehen. Nachdem diese Substanz als tauglich befunden war, wurde die Anfertigung des ganzen Instrumentes unternommen.

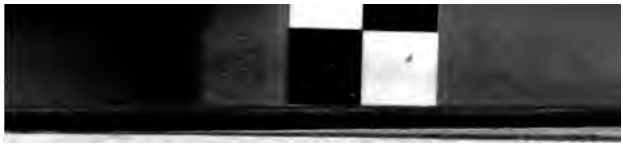
Fig. 493.



Dasselbe ist in Fig. 493 abgebildet.

Auf einem ovalen Brette *a a* von Holz von 550^{mm} und 320^{mm} Durchmesser sind in einer Entfernung von 480^{mm} zwei eiserne oder messingene Ständer *b b* von 10^{mm} Dicke und 650^{mm} Höhe aufgerichtet. Auf diesen Ständern bewegt sich das hölzerne Brettchen *c c*, dessen 3 Dimensionen 550^{mm}, 60^{mm} und 25^{mm} sind. Es wird durch zwei Stellschrauben an die Ständer auf jeder beliebigen Höhe festgeklemmt. Die Mitte des Brettchens *c c* wird genau gesucht, und indem man es über die Ständer *b b* auf das Brett *a a* herabläßt, auch auf dieses genau übertragen. Das Gestell ist alsdann centrirt.

Auf dem Brettchen *c c* bewegt sich mit einem Ansatz in einem Loche ein Theilkreis *d* von 160^{mm} Durchmesser. Er hat eine Theilung in Grade und der Nonius giebt zehntel Grade an. Durch die Arretirung *e* kann er gestellt werden. Mitten durch den Theilkreis und das Brettchen *c* geht ein messingenes Röhrchen von 3^{mm} Oeffnung und geringer Wanddicke. Es trägt auf seiner Mitte den Zeiger mit Nonius *m*, und an seinem oberen Ende eine runde Scheibe mit gerieftem Rande von 50^{mm} Durchmesser, um mit der Hand erfaßt und gedreht zu werden. In das untere Ende der messingenen Röhre wird mit fester Reibung eine hohle Klammer eingeschoben, welche von außen durch eine in einem Ringe befindliche Schraube geschlossen werden kann. Durch die Klammer und die messingene Röhre und Griffscheibe geht die Uhrfeder hindurch und ragt nach oben heraus, um sie nöthigenfalls noch verlängern zu können. Auch kann man das messingene Röhrchen selbst zu einer Klammer einrichten,



dadurch daß man es aufſägt, die beiden Hälften mit eingelöthetem Halbcylinderchen von Meſſing ausfüllt, und nun einen Klemmring mit Schraube enge darüber ſchiebt.

An der Uhrfeder hängt ebenfalls mit einer Klemmſchraube das Paar aſtatiſcher Nadeln. Sie ſind aus gutem Stahle gefertigt und ſehr hart gehärtet, damit ſie ihre magnetiſche Kraft nicht verlieren. Ihre Form iſt parallelipipediſch, ihre Dimenſionen ſind:

$$240^{mm},\ 14^{mm} \text{ und } 6^{mm}.$$

Ihre lichte Entfernung von einander iſt 42^{mm}. Sie ſind durch einen meſſingenen Draht verbunden, deſſen Schraubengewinde in Muttern, die mitten in die Magnetnadel geſchnitten ſind, paſſen. Dieſe Nadeln haben einen anſehnlichen Körper, um genügende Drehkraft für die Uhrfeder *f* erzeugen zu können. Sie werden möglichſt ſtark magnetiſirt. Die Uhrfeder hat eine freie Länge von $^1/_3$ bis zu $^1/_2$ Meter, eine Breite von $1^1/_2{}^{mm}$ und eine Dicke von $^1/_4{}^{mm}$.

Die aſtatiſchen Nadeln, ſchweben in einem Drahtgewinde, welches aus 3^{mm} dickem überſponnenem Kupferdraht beſteht, der in 30 Windungen über ein 100^{mm} breites Rähmchen von dünnem Nußbaumholz ſauber gewickelt iſt. In der Mitte der oberen Lage iſt ein 8^{mm} weites Loch zum Durchgange des Verbindungsdrahtes beider Nadeln. Die Drähte werden hier durch Stücke von Korkſtopfen auseinander gehalten. Die Enden des Leitungsdrahtes gehen nach derſelben Seite heraus und ſind mit Schraubenklammern verſehen.

Da die Nadel aſtatiſch iſt, ſo wird ſie ſich ſo ſtellen, daß die Feder *f* keine Torſion hat. Man ſtellt erſt den Zeiger *m* auf dem Gradbogen *d* auf Null und läßt die Nadeln zur Ruhe kommen, nun dreht man das Drahtgewinde ſo lange herum, bis die Nadeln genau in der Mitte des Gradbogens *o* ſtehen. Um dies leicht zu können, läßt ſich das Brettchen, worauf das Drahtgewinde befeſtigt iſt, um einen Stift drehen, der genau im Mittelpunkte des Brettes *a* hervorragt, und alſo ſenkrecht unter der Torſionsfeder *f* iſt. Mit Hülfe der drei Schrauben *r r r* richtet man das Brett *a* ſo, daß der meſſingene Verbindungsdraht der beiden Nadeln in der Mitte des 8^{mm} weiten Loches ſchwebt. Er berührt deſſen Wände nirgend, und die Nadel kann ſich ebenſowohl ohne Reibung drehen, als man auch das Drahtgewinde drehen kann, ohne die Nadel mitzunehmen. Den richtigen Stand der Nadel in der Ruhe, auf welchen ſie bei jedem Verſuche zurückgeführt werden muß, erkennt man an dem kleinen Gradbogen *o* auf Papier oder verſilbertem Meſſing, welcher unter der Nadel auf das Drahtgewinde befeſtigt iſt. Die vordere ſenkrechte Fläche der oberen Nadel iſt glänzend polirt und trägt in der Mitte einen ſenkrechten Strich, der vor dem Härten hineingravirt

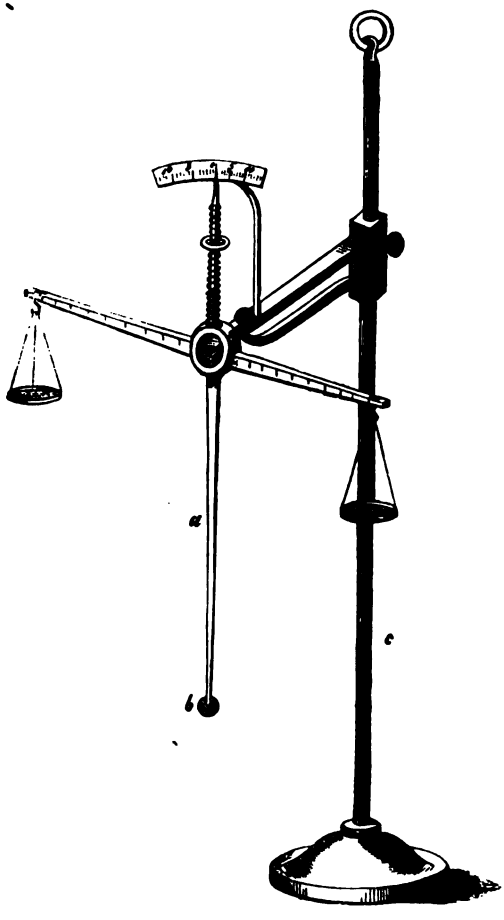
oder geritzt wurde. Der mittlere Strich der Scala ist ebenfalls stark durchgezogen. In einer gewissen Höhe sieht man die Scala des Kreisbogens sich im Kopfe der Nadel spiegeln. Man sieht den Strich des Nullpunktes der Scala hinter dem Striche auf der Nadel sich hin und her bewegen, und die Nadel steht richtig, wenn sich beide Striche decken. Der Gebrauch des Instrumentes ist nun folgender: Man läßt den zu messenden Strom durch die Drahtleitung kreisen. Dadurch werden die beiden Nadeln abgelenkt. Man dreht sie nun an dem Griffe, woran der Zeiger *m* befestigt ist, und woran die Uhrfeder *f* hängt, genau wieder so weit, daß sich die beiden Mittelstriche der Scala und auf der oberen Nadel decken. Die Torsion der Feder wird nun an dem Theilkreise *d* abgelesen. Die Zahlen der Torsionswinkel sind unmittelbar proportional und lassen sich leicht auf chemischen Effect reduciren. Daß die Torsionswinkel bei flachen Uhrfedern der drehenden Kraft proportional seyen, war noch nicht durch Versuche bekannt, und es mußte deshalb erst geprüft werden. Zu diesem Zwecke wurde eine Wage construirt, welche mit einem herabgehenden Arme geeignet war, einen horizontalen Druck zu messen. Diese Wage ist in Fig. 494 abgebildet.

Sie ist nicht aufgehangen, sondern ruht mit ihrer mittleren Schneide, welche in einem kreisförmigen leeren Raume des Wagbalkens frei hervorragt, auf einer schwach ausgehöhlten Pfanne, wozu man den Ausschnitt einer gespaltenen weiten Glasröhre gebrauchen kann. Der senkrecht herabhangende Arm *a* ist bis in die Mitte des kleinen Röllchens *b* doppelt so lang als ein Arm am Balken. Jeder Arm der Wage ist in 10 gleiche Theile eingetheilt, und die Theile durch Zahlen, von der Mitte anfangend, bezeichnet. Die ganze Wage läßt sich an einer messingenen Stange *c* mit schwerem Fuße beliebig hoch stellen.

Diese Wage wird nun an das Torsionsgalvanometer gebracht und so weit herunter gelassen, daß die Mitte des Rädchens *b* an dem senkrechten Arme genau auf die Mitte der senkrechten Höhe der oberen Magnetnadel drückt. Der Angriffspunkt der Wage an der Magnetnadel ist $1/10$ Meter von der Mitte der Nadel entfernt, und wird durch einen Strich bezeichnet. Nachdem nun die Wage dicht an die Magnetnadel gebracht ist, so daß sowohl die Nadel als der Zeiger der Wage auf ihren Theilkreisen auf 0 stehen, wird der Uhrfeder eine beliebige Torsion gegeben, die auf dem Theilkreise *d* (Fig. 493) abgelesen wird. Die Magnetnadel drückt nun mit dieser Kraft gegen das Rädchen der Wage und schiebt es seitwärts, wodurch ein Arm der Wage in die Höhe steigt. Durch Belastung dieser Seite des Balkens mit genauen Gewichten wird die Wage wieder auf 0 gebracht, und das dazu nöthige Gewicht giebt den horizontalen

Druck der Nadel in Grammen oder irgend einem anderen abſoluten Gewichte an.

Fig. 494.



In dieſer Art wurden die folgenden Zahlen erhalten:

	A	B	C	D
	Torſions-winkel.	Aufgelegtes Gewicht in Grammen.	Berechnetes Gewicht in Grammen.	Differenz.
	30°	0,170	0,1697	— 1,0003
	60°	0,341	0,3394	— 0,0046
	90°	0,513	0,5091	— 0,0039
	120°	0,678	0,6788	+ 0,0008
	150°	0,850	0,8485	— 0,0015
	180°	1,010	1,0182	+ 0,0082
	210°	1,179	1,1879	+ 0,0089
	240°	1,347	1,3576	+ 0,0106
	270°	1,521	1,5273	+ 0,0063
	300°	1,694	1,6970	+ 0,0030
	330°	1,876	1,8667	— 0,0093
	360°	2,037	2,0364	— 0,0006
	450°	2,565	2,5455	— 0,0200
	720°	4,043	4,0728	+ 0,0298
Summa	3510°	19,824		

Columne A iſt die abſichtlich gegebene Torſion, B das nöthige Gewicht in Grammen, um dieſer Torſion das Gleichgewicht zu halten, Columne C iſt aus dem Mittel aller Verſuche berechnet. Nach Columne A haben 3510° Torſion 19,824 Gramme zur Herſtellung des Gleichgewichts erfordert, alſo würden 30° erfordern: 0,1697.

In dieſer Art ſind die einzelnen Poſten von C berechnet. B von C abgezogen, giebt die Columne D. Da die Zeichen der Differenz theils negativ, theils poſitiv ſind, die Differenzen ſelbſt aber überall ſehr klein, ſo ergiebt das einfache Geſetz für flache bandartige Uhrfedern, was ſchon Coulomb für Drähte nachgewieſen hatte, daß: die Kraft, womit die Nadel in ihre urſprüngliche Lage zurückgedrängt werden muß, dem Torſionswinkel genau proportional iſt.

Es konnte nun für alle ferneren Verſuche dieſe Wage vollkommen entbehrt, und die Torſionskraft allein als Index der Größe der ablenkenden Kraft benutzt werden.

Um nun dieſes Inſtrument auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen und

die Angaben desselben, wie Thermometergrade, allgemein verständlich zu machen, wurde es mit einer Volta'schen Säule und Zersetzungszelle verbunden, und der Strom der Säule zugleich durch die Zersetzungszelle und das Galvanometer geleitet. Zu diesem Zwecke wurde eine Grove'sche Säule von 8 Elementen angewendet. Die Zellen waren nicht unter sich gleich stark, worauf es auch gar nicht ankam. Die Größe des voltametrischen Effectes wurde mit dem Apparate, Fig. 495, gemessen. *a* ist die

Fig. 495.

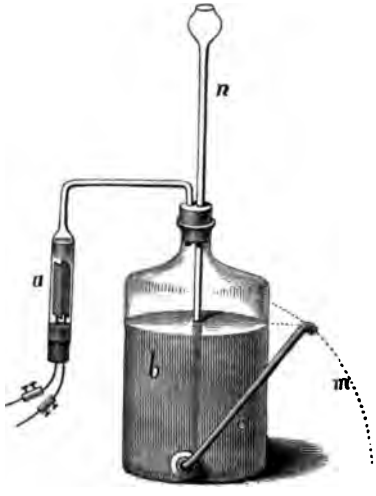


Fig. 496.

Zersetzungszelle, worin der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwickelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Quecksilber gefüllt seyn kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre, Fig. 496, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so daß sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguß dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguß auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre dient zum Erkennen, ob die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schließt jeden Fehler einer Parallaxe aus. Die Messung findet nun ganz leicht Statt. Man schließt den Strom der Scala durch Eintauchen der letzten offenen Verbindung des Apparates und bemerkt den Zeiger an der Uhr. Die Nadel des Galvanometers bringt man durch Torsion genau zum Einstehen und notirt den Torsionswinkel. Die Wasserzersetzung lasse man eine bestimmte Zeit fortdauern und beobachte zugleich an der Nadel, ob der Strom in Quantität nicht schwanke. So wie die Zeit verflossen ist, öffne man die Kette, bringe durch Beugen

der Röhre c noch so viel Wasser zum Ausfließen, daß die Spannung der Luft innen und außen gleich sei, und bestimme nun die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volum oder Gewicht.

In dieser Art wurden die folgenden Resultate erhalten:

Anzahl der Zellen.	Torsion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in 1 Minute in Cubikcentimeter.	Torsion auf 1 Cubikcentimeter.
8	530	44,5	11,91
8	587	46	12,75
8	429	37	11,60
7	520	41	12,6
7	490	40	12,2
7	409	33,5	12,35
6	423	35	12,08
6	357	30	11,90
5	338	29	11,65
5	337,5	28,5	11,85
5	315	26	12,11
4	277	23,5	11,80
4	263,5	23	11,46
3	181	16	11,31
3	181	15,75	11,50
3	174	15	11,6
2	85	7	12,14
1	nichts	nichts	
	Summa 5896,5	490,75	

Es wurden zuerst 8 Zellen angesetzt, dann immer eine entfernt, bis herunter auf 1, dann wieder steigend bis zu 8 eine zugesetzt. Die letzte Reihe von Versuchen fiel wegen Abstumpfung der Säure etwas schwächer aus. Die Resultate sind nach der Anzahl der Zellen geordnet. Die vierte Columne ist durch Division mit der dritten in die zweite erhalten. Die Quotienten der vierten Columne sind sich so sehr unter einander gleich, daß man daraus den unbezweifelten Schluß ziehen kann, daß *bei jeder Stärke des Stromes die ablenkende Kraft des Stromes vollkommen dem chemischen Effecte proportional ist.*

Addiren wir nun die zweite und dritte Columne einzeln, und dividiren mit der Summe der dritten Columne (= 490,75) in die Summe der

zweiten Columne (= 5896,5), ſo erhalten wir als Mittel, daß bei dem vorliegenden Inſtrumente als Individuum betrachtet: 12,015 Grade Torſion einen chemiſchen Effect von 1 Cubikcentimeter gewiſchter Gaſe per Minute repräſentiren.

Ich ſtellte nun auch noch eine Daniell'ſche Säule aus 8 Elementen zuſammen, und ließ die Zerſetzung 5 Minuten dauern. Dabei wurden folgende Reſultate erhalten:

Zahl der Elemente.	Torſion des Galvanometers.	Cubikcentimeter gemiſchtes Gas in 5 Minuten.
8	28	12
8 ſpäter	23¼	10
7	25	10
6	19¾	8
5	15	6
4	10	4
3	(4)	unmeßbar
2	nichts	nichts
Summa	121,25	50

121,25 getheilt durch 10 (welches die in 1 Minute entwickelte Gasmenge iſt) giebt 12,125 Grade Torſion für 1 Cubikcentimeter gemiſchtes Gas, eine Zahl, die ſo genau mit jener bei der Grove'ſchen Säule erhaltenen zuſammenfällt, daß dadurch ihre Richtigkeit für jede Art von Säulen feſtſteht. Schenken wir nun der erſteren Zahl 12,012 das größere Zutrauen, ſo haben wir nur noch eine Tafel zu berechnen, um jede Art von Strom, die durch Torſion gemeſſen werden kann, ſogleich nach chemiſchem Effect zu beſtimmen, ſelbſt wenn der Strom nicht Intenſität genug beſitzt, eine Zerſetzungszelle zu durchdringen.

Wenn 12° Torſion 1 Cubikcentimeter gemiſchtes Gas per Minute repräſentirt, ſo iſt:

1^0	Torſion	= 0,0833	Cubikcentimeter
2^0	»	= 0,1666	»
3^0	»	= 0,2499	»
4^0	»	= 0,3333	»
5^0	»	= 0,4165	»
6^0	»	= 0,5000	»
7^0	»	= 0,5833	»
8^0	»	= 0,6666	»
9^0	»	= 0,7500	»

Mit dieſem Täfelchen, welches freilich nur zu Mohr's Inſtrumente paßt, läßt ſich jeder Strom in abſolutem Volummaaß des in 1 Minute gelieferten gemiſchten Gaſes ausdrücken. Ein Strom von 945^0 Torſion würde die Zahl 78,7495 ^{kcm} erhalten, denn

900	= 75,00
40	= 3,333
5	= 0,4165
945	= 78,7495.

Da nun die begründenden Verſuche ein für allemal gemacht ſind, ſo hat Jeder, der ein ſolches Gavanometer conſtruirt hat, nur folgenden einfachen Verſuch zu machen. Man ſtelle eine Säule zuſammen, laſſe ſie Waſſerzerſetzung eine gemeſſene Zeitlang bewirken, meſſe den Strom durch die Torſion des Galvanometers und das Volum der Gaſe, ſo erfährt man durch eine einfache Diviſion, wie viel Grade Torſion einem Cubikcentimeter gemiſchter Gaſe entſprechen. Das kleine Täfelchen erleichtert die Anwendung, indem es einzelne Berechnungen in bloße Addition verwandelt. Es iſt nicht verwehrt, Correctionen der Feuchtigkeit, Wärme und des Barometerſtandes anzubringen; doch werden die Verſuche am bequemſten vergleichbar ſein, wenn ſie bei einer mittleren Zimmertemperatur von 12^0 R. gemacht werden. Die vorliegenden ſind bei 28 Zoll Barometerſtand angeſtellt worden, und bedürfen deshalb keiner Correction.

Derſelbe Strom muß nun aber noch, um ihn vollſtändig zu erkennen, nach Intenſität oder Spannung gemeſſen werden. Das paſſendſte Inſtrument dazu iſt das Rheometer oder der Rheoſtat von Wheatſtone, der aber nicht ſo leicht von ſeinen Beſonderheiten entkleidet werden kann. Ich ſchlage folgenden allgemeinen Ausdruck vor. Um einen beſtimmten Strom auf die Hälfte ſeiner Quantität zu reduciren, müſſen ſo und ſo viele Meter eines ſo und ſo dicken Drahtes eingeſchaltet werden.

Die wirkliche Quantität des Stroms wird unmittelbar durch Torſion

am Galvanometer gemeſſen. Dieſe Zahl durch 2 dividirt, giebt die Hälfte der Quantität, worauf man den Zeiger des Galvanometerkreiſes einzuſtellen hat. Nun ſchalte man den Draht des Rheoſtats ein, bis die Nadel des Galvanometers wieder auf 0 ſteht. Die eingeſchaltete Drahtlänge iſt das Maaß der Intenſität in einem conventionellen Drahte ausgedrückt. Hier liegt aber die Schwierigkeit. Woher nehmen wir einen Draht von einer beſtimmten Dicke und Leitungsfähigkeit? Aus dieſem Grunde erlangt der Rheometer niemals die Beſtimmtheit der Angaben des Galvanometers mit Torſion. Wheatſtone empfiehlt als Grundmaaß (Standard) einen Kupferdraht, wovon 1 Fuß 100 Gran Gewicht hat. In gleicher Art könnte man zweckmäßiger Meter und Gramm einführen. Kupfer hat den Nachtheil, zu gut zu leiten und dadurch bedeutende Längen zu erfordern. Paſſender möchte Platin ſeyn, da Meſſing als Legirung nicht immer gleiche Miſchung haben wird.

Der ganze Ausdruck für einen elektriſchen Strom wird demnach folgender ſeyn:

Seine Quantität iſt gleich ſoviel Kubikcentimetern gemiſchter Gaſe per Minute, und ſeine Intenſität eine ſolche, daß er durch ein eingeſchaltetes Stück von ſo viel Metern Länge, und von ſolcher Dicke und Subſtanz auf die Hälfte ſeiner Quantität reducirt wird. Iſt ein ſolcher Draht conventionell feſtgeſetzt, ſo iſt der Ausdruck für jeden Strom, mit beiſpielsweiſen Zahlen:

Q (Quantität) = 78,7495 Kub.-Centimeter.
J (Intenſität) = 31,57 Meter.

5.

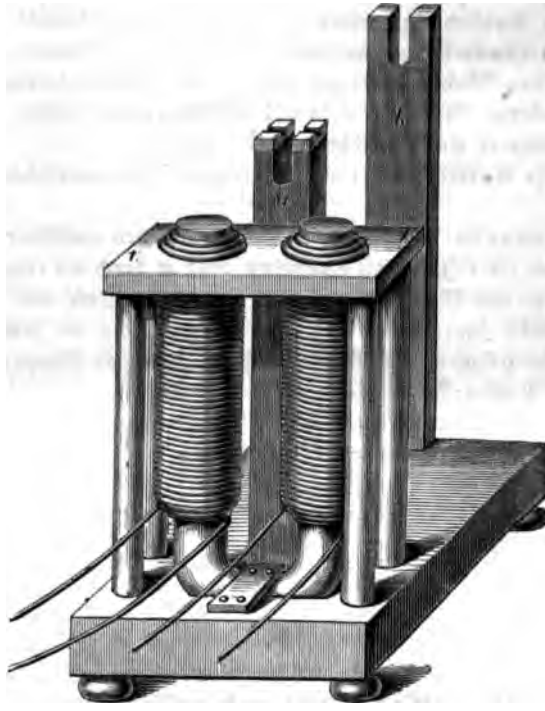
Zweckmäßige Conſtruction des Elektromagneten für Verſuche über Diamagnetismus und Plücker's Verſuche über die Einwirkung ſtarker Magnetpole auf die optiſchen Axen doppeltbrechender Kryſtalle.

Um Verſuche über die Wirkung kräftiger Elektromagnete auf diamagnetiſche Körper zu machen, muß man dem Elektromagneten eine andere Aufſtellung geben als es bisher üblich war, wo man es in der

Regel nur darauf abſah, ihre ſtarke Tragkraft zu zeigen. Während man bis jetzt die Pole der Elektromagneten meiſt nach unten gekehrt hatte, müſſen ſie für die fraglichen Verſuche nach Oben gekehrt ſeyn.

Profeſſor Plücker hat viel Verſuche über Diamagnetismus gemacht, die ich weiter unten noch näher erwähnen werde; nach ſeinen Angaben hat der Mechanikus Etter in Bonn einen ſehr zweckmäßigen Apparat conſtruirt, der im Weſentlichen in Fig. 497 jedoch dahin abgeändert gezeichnet

Fig. 497.



iſt, daß er auch dienen kann, um die ſtarke Tragkraft der Elektromagnete zu zeigen.

Die Einrichtung des Apparates iſt aus der Figur ohne weitere Erklärung verſtändlich; jeder Arm des Uförmigen Eiſens hat ſeine beſondere Umwickelung, was den Vortheil hat, daß man die beiden Arme auch gleichförmig magnetiſiren, alſo beide Arme in Nordpole oder beide in Südpole verwandeln kann, was für manche Unterſuchungen von Wichtigkeit ſeyn könnte.

Um die Tragkraft des Elektromagneten zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 498; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgerissen wird.

Fig. 498.

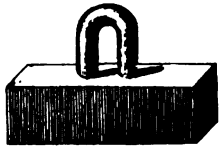
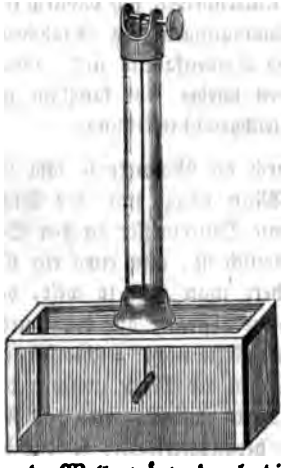


Fig. 499.

Um Versuche mit diamagnetischen Körpern anzustellen, muß man die Magnetpole beliebig nähern können. Um dies zu erreichen, wird auf jeden Pol des Elektromagneten ein Stück weiches Eisen gelegt, von der Form, wie man sie Fig. 499 sieht. Auf einer Seite ist jedes dieser Eisenstücke konisch zugespitzt, und sie werden so auf die oberen Enden des Uförmigen Eisens aufgelegt, daß die Spitzen einander zugekehrt sind. Diese Spitzen bilden nun die Pole, zwischen denen der zu untersuchende Körper aufgehängt wird.

Um den zwischen den beiden Polen hängenden Körper vor Luftzug zu schützen, wird auf das Tischlein *t*, Fig. 497, aus welchem die Magnetpole hervorragen, ein Glaskasten gesetzt. Ein solcher Glaskasten von möglichst einfacher Einrichtung (die Kanten sind durch Papierstreifen verklebt) ist Fig. 500 dargestellt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 500.



Beim Etter'schen Apparate hat dieser Aufsatz ganz die Einrichtung der Coulomb'schen Drehwage; auf der oberen Fassung der Röhre dreht sich ein getheilter Metallring, welcher die zum Aufwinden des Fadens dienende Welle trägt; durch diese Drehung kann man das zu untersuchende Stäbchen leicht in jede beliebige Lage bringen; die Theilung ist jedoch hier

zwecklos, sie kann also füglich wegbleiben, wenn man den Apparat nicht auch sonst noch gebrauchen will. Bei der Fig. 500 dargestellten Einrichtung steckt die Glasröhre unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist, man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre vertikale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Es ist zweckmäßig, das Stäbchen in eine Schleife des Fadens zu befestigen und nicht in ein Schiffchen zu legen, weil die Magnetpole schon auf die Substanz des Schiffchens wirken, wodurch die Resultate unsicher werden.

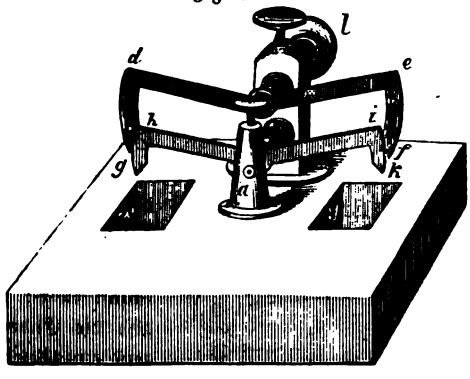
Hat man den zu prüfenden Körper gehörig aufgehängt, und den Glaskasten auf das Tischlein *t* gesetzt, während die Kette noch nicht geschlossen ist, so läßt man nun das Stäbchen herab, bis es zwischen den beiden Spitzen in der Mitte hängt; die Entfernung der beiden Spitzen muß etwas größer seyn als die Länge des Stäbchens. Wenn das Stäbchen in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und der äquatorialen in der Mitte liegt, so wird es, je nachdem seine Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist, entweder nach der axialen oder äquatorialen Lage hingetrieben, sobald man die Kette schließt; begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagneten sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äußerst langsamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

Die Abstoßung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole läßt sich am auffallendsten folgendermaßen zeigen. Man hänge statt des Stäbchens eine kleine Kugel von ungefähr $^3/_4$ Linie Durchmesser an den Seidenfaden, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Eisenstücke nähert man nun so weit, daß die Spitzen nur unbedeutend mehr von einander abstehen als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, daß das Kügelchen gerade in der Mitte zwischen den beiden Spitzen hängt, sobald man aber die Kette schließt, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so daß der Faden, an dem es hängt, merklich von seiner vertikalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Es iſt dies ein Beweis einer ſehr kräftigen Abſtoßung, welche beide Polſpitzen auf das Kügelchen ausüben.

Um leicht und ſchnell öffnen und ſchließen oder auf den Strom umkehren zu können, hat Etter an ſeinem Apparat einen Commutator angebracht, der Fig. 501 für ſich allein dargeſtellt iſt, und der in mancher Beziehung zweckmäßiger ſeyn dürfte, als der Fig. 192 abgebildete, weshalb auch hier ſeine Beſchreibung folgt.

Fig. 501.



Der Etter'ſche Commutator iſt Fig. 501 in perſpectiviſcher Anſicht dargeſtellt, Fig. 502 zeigt den Haupttheil des Apparates geometriſch von der Seite her.

Auf einem Holzbrettchen ſtehen zwei Meſſingpfeiler *a* u. *b*. Durch den hinteren Pfeiler *b* gehen zwei horizontale Axen; die obere, ganz von Meſſing, trägt vorn die Kupfergabel *cdef*, hinten aber den Knopf *l*, welcher dient, um dieſe Axe zu drehen.

Fig. 502.

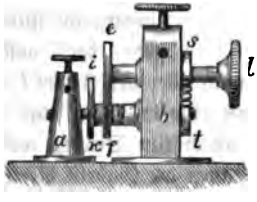
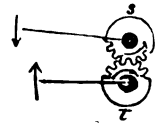


Fig. 503.



Die untere Axe iſt nicht ganz von Meſſing, ſondern ſie hat in der Mitte ein Holzſtück, welches den vorderen meſſingenen Theil von dem hinteren iſolirt. Der vordere Theil dieſer Axe ſteckt in einer Höhlung der Säule *a* und trägt die Kupfergabel *ghik*.

Auf der Rückſeite der Säule *b* tragen die beiden Axen Metallſcheiben *s* und *t*, die durch einige Zähne in einander eingreifen, ſo daß durch Drehung am Knopf *l* beide Axen gedreht werden, wobei ſich aber die untere ſtets nach der entgegengeſetzten Seite der oberen dreht, wie ſich dies aus der Erläuterungs-Figur 503 ergiebt.

Gegen das obere Ende hin enthält jede der Säulen ein Loch, in welcher vermittelſt von oben herabkommender Schrauben die Poldrähte der galvaniſchen Kette eingeklemmt werden können.

In *b* ſey der poſitive, in *a* der negative Poldraht eingeklemmt, ſo iſt die Gabel *c d e f* gleichſam das poſitive, *g h i k* dagegen das negative Polende (die negative Elektricität kann von a wegen des iſolirenden Holzſtücks in der Mitte der unteren horizontalen Axe nicht auf *b* übergehen). Dreht man nun den Knopf *l* nach der rechten Seite, ſo geht der eine Arm *c d* der oberen Gabel in das Queckſilbernäpfchen *x* herab, *i k* aber taucht in *y*; wenn alſo die Enden irgend eines Leitungsdrahtes in die Höhlungen *x* und *y* eingetaucht ſind, ſo geht der poſitive Strom von *x* durch den Draht nach *y*; dreht man aber den Knopf *l* nach entgegengeſetzter Richtung, ſo taucht *e f* in *y*, *g h* aber in *x* ein, und nun geht der Strom in entgegengeſetzter Richtung durch den Draht, welcher das Queckſilbernäpfchen *x* und *y* verbindet. Haben die Gabeln die Stellung wie in Fig. 504, ſo iſt die Kette nicht geſchloſſen.

Fig. 504.

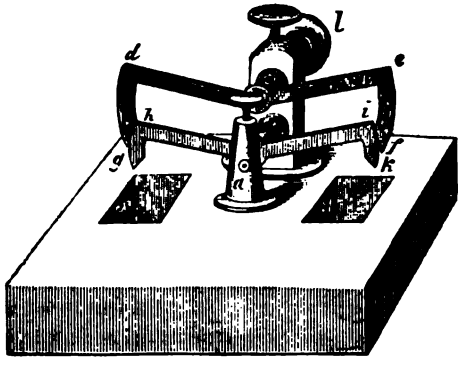


Fig. 505.

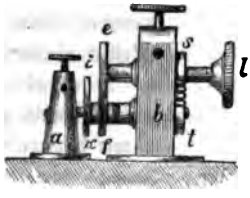
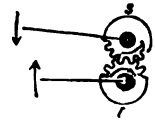


Fig. 506.

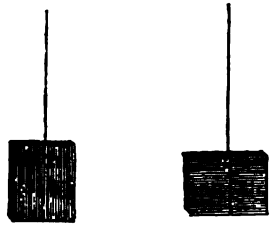


Plücker hat viele doppeltbrechende Kryſtalle auf ihr Verhalten zwiſchen den Polen des Elektromagneten unterſucht, und dabei ein ſehr merkwürdiges Verhalten der optiſchen Axen gefunden.

Eine Turmalinplatte, welche einer Turmalinzange entnommen, alſo parallel mit der Axe geſchliffen war, wurde ſo aufgehängt, daß die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zuſammenfiel (es iſt dies in Fig. 507 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien ſind den optiſchen Axen der Platte parallel). Die Platte ſtellt ſich zwiſchen den Polen des Elektromagneten axial; der Turmalin iſt alſo eine magnetiſche Subſtanz (was wohl von ſeinem Eiſengehalte herrührt). Nun wurde dieſelbe Platte ſo aufgehängt, daß die Richtung der optiſchen Axe recht-

winklig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 508 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Fig. 507. Fig. 508.



Diese Erscheinung läßt sich durch die Annahme erklären, daß die Magnetpole eine abstoßende Wirkung auf die optische Axe ausüben; bei der ersten Aufhängungsart bildet die optische Axe die Umdrehungsaxe des Krystalls, jene Abstoßung der optischen Axe kommt also hier nicht in's Spiel, die Platte wird also in Folge ihrer magnetischen Eigenschaften axial gestellt; bei der zweiten Aufhängung aber überwindet die Abstoßung der optischen Axe die magnetische Anziehung und die Platte stellt sich äquatorial.

Ganz eigenthümliche Modificationen beobachtet man, wenn man statt der Turmalinplatte einen säulenförmig krystallisirten Turmalin anwendet, dessen Längendimensionen sehr entschieden vorherrschen. Hängt man diese Säule so auf, daß die Säulenaxe (welche hier mit der optischen Axe zusammenfällt) harizontal hängt, so stellt sich die Säule axial, wenn die Polspitzen so weit genähert sind, daß die Längenaxe der Säule nur noch eben zwischen ihnen Platz hat; werden dagegen die Polspitzen mehr entfernt, so stellt sich der Krystall äquatorial.

Statt die Polspitzen zu entfernen, ist es bequemer, sie unverändert zu lassen, und den Krystall durch Drehung der Welle, an welcher der Seidenfaden befestigt ist, zu heben.

Hängt der Krystall gerade zwischen den möglichst genäherten Polspitzen, so stellt er sich axial; hebt man ihn allmälig, so nimmt die Kraft, welche ihn axial stellt, ab, und bei einer bestimmten Hebung dreht er sich um 90^0, so daß er nun die äquatoriale Stellung einnimmt.

Bei großer Nähe der Polspitzen ist also der Magnetismus der Substanz, bei größerer Entfernung von den Polspitzen ist die Abstoßung der optischen Axe überwiegend.

Versuche mit anderen einaxigen Krystallen geben ähnliche Resultate, sie zeigen ebenfalls eine eigenthümliche Abstoßung der optischen Axe, welche unter Umständen die Wirkung der Magnetpole auf die übrige Masse überwiegen kann.

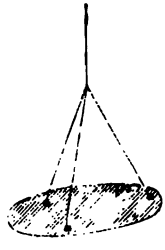
Die Masse des Kalkspaths z. B. ist an und für sich diamagnetisch. Hält man nun eine senkrecht zur Axe geschliffene Kalkspathplatte, wie man sie braucht, um das Ringsystem zu zeigen, so auf, daß die Schnittflächen vertikal sind, daß sich also die optische Axe des Krystalls in einer horizontalen Ebene umdrehen kann, so stellt sich die Platte bei möglichst genä-

herten Polſpitzen äquatorial alſo in der Weiſe, daß die optiſche Axe des Kryſtalls mit den Verbindungslinien der beiden Polſpitzen zuſammenfällt. Hier alſo iſt es jedenfalls der Diamagnetismus, welcher die Stellung der Platte beſtimmt. Wird nun die Platte durch Umdrehung der Welle, an welcher der Faden befeſtigt iſt, gehoben, ſo kommt man bald zu einer Stelle, wo ſich der Kryſtall um 90° dreht, ſo daß er ſich axial ſtellt, während die optiſche Axe der Platte rechtwinklig zur Verbindungslinie der Polſpitzen ſteht; in dieſer letzteren Lage hat nun die abſtoßende Wirkung auf die optiſche Axe das Uebergewicht über diejenige Wirkung, welche die Magnetpole auf die Maſſe des Kalkſpaths, als eine diamagnetiſche Subſtanz, ausüben.

Zweiaxige Kryſtalle geben ähnliche Reſultate, und zwar zeigt ſich, daß jede optiſche Axe abgeſtoßen wird.

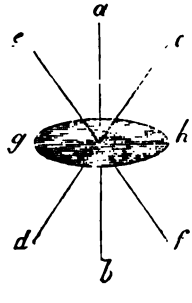
Einen entſchiedenen Beweis für dieſe Behauptung liefert folgender, von Plücker angeſtellter Verſuch. Eine Glimmerſcheibe wurde kreisförmig geſchnitten und ſo aufgehangen, daß ihre Ebene horizontal war, alſo in der Weiſe, wie es Fig. 509 andeutet. Mag nun der Glimmer an und für ſich magnetiſch oder diamagnetiſch ſeyn, ſo iſt deshalb kein Grund vorhanden, warum dieſe Scheibe irgend eine beſtimmte Lage annehmen ſollte, und doch ſtellte ſich die Scheibe zwiſchen den Polſpitzen ſtets ſo, daß die Ebene der optiſchen Axen rechtwinklig auf der Verbindungslinie der Polſpitzen ſtand.

Fig. 509.



Bekanntlich liegt die optiſche Mittellinie des Glimmers rechtwinklig auf der Ebene der Blätter. In Fig. 510 ſtelle die ſchattirte Scheibe das kreisförmige horizontal hängende Glimmerblatt dar, ſo iſt ab die Richtung der Mittellinie. Sind ferner cd und ef die optiſchen Axen, ſo iſt gh die Linie, in welcher die Ebene der optiſchen Axen die Ebene des Glimmerblattes durchſchneidet. Das Glimmerblatt wird nun zwiſchen den Polſpitzen ſtets ſo geſtellt, daß gh rechtwinklig ſteht zur Verbindungslinie der Polſpitzen.

Fig. 510.



Dies Reſultat läßt ſich nicht erklären durch eine Abſtoßung der Mittellinie, ſondern nur durch eine Abſtoßung der beiden optiſchen Axen.

Andere Verſuche mit zweiaxigen Kryſtallen gaben ähnliche Reſultate.

Plücker fand ferner, daß ſich Stäbchen von Holz und Kohle, Streifen aus der Rinde von Baumzweigen u. ſ. w. bei großer Nähe der Pol-

ſpitzen äquatorial ſtellen, bei größerer Entfernung von den Polſpitzen aber in die axialen Lage übergehen. Dies erklärt ſich nun nach Plücker's Anſicht dadurch, daß dieſe Körper aus magnetiſchen und diamagnetiſchen Beſtandtheilen beſtehen, und daß die Wirkung der Pole auf die diamagnetiſchen Theilchen raſcher mit der Entfernung abnimmt, als die Wirkung auf die magnetiſchen.

Durch Zuſammenſchmelzen von Stanniol, der wahrſcheinlich wegen ſeines Eiſengehaltes magnetiſch war, mit Wismuth, der ja entſchieden diamagnetiſch iſt, gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die, wie Holz und Kohle, bei nahen Polſpitzen ſich äquatorial, bei entfernten Polſpitzen aber axial ſtellten.

Berichtigung.

In der Vorrede zur dritten Auflage, Zeile 5 von unten, soll es heißen

»durch die Arbeiten von Magnus und Regnault«

anstatt

»durch Regnault's Arbeiten«.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Bd.	Seite
Aberration, sphärische . .	I	376
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom	II	173
Absorption der Gase . . .	I	172
» des Lichtes in doppeltbrechenden Krystallen .	I	538
Absorption der Wärmestrahlen	II	452
» der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre . .	II	542
Abweichung, magnetische . .	II	14
Achromatismus	I	434
» des Auges .	I	449
Actinometer	II	549
Adhäsion	I	61
Adhäsion zwischen flüssigen u. festen Körpern	I	101
Aequator, magnetischer . .	II	17
Aequivalent, elektrochemisches	II	166
Aggregatzustände	I	12
Alcarazzas	II	397
Alkoholometer	I	90
Ampère'sches Gesetz . . .	II	174
» Gestell . . .	II	229
Ampère'sche Theorie . . .	II	234
Anelektrische Körper . . .	II	62
Anion	II	169
Anode	II	169
Aräometer	I	84
Archimedisches Princip . .	I	78
Armaturen, magnetische . .	II	58
Atom	I	7
Atwood'sche Fallmaschine .	I	184
Auge	I	440
Ausdehnbarkeit	I	8
Ausdehnung durch Wärme.		
» lineare	II	292
» körperliche . . .	II	293
» fester Körper . .	II	294
» flüssiger Körper .	II	304
» gasförmiger Körper	II	314
Ausflußgeschwindigkeit . .	I	233
Ausflußmenge	I	238
Auslader, elektrischer . . .	II	98
» Henley'scher . .	II	102
Axen, krystallographische . .	I	64
» optische	I	550
» secundäre der Linsen .	I	414

B.

Babinet's Hahn	I	149
Barometer	I	119
» periodische Schwankungen desselben . . .	II	554
Barometerprobe	I	148
Barometrische Höhenmessungen	I	134
Batterie, elektrische . . .	II	101
Beharrungsvermögen . . .	I	14
Beugung des Lichtes . . .	I	499
Bewegung, gleichförmige . .	I	180
» beschleunigte . .	I	187
» verzögerte . .	I	187

	Bd.	Seite
Bifilarmagnetometer	II	50
Bilder ebener Spiegel	I	364
» der Concavspiegel	I	377
» der Convexspiegel	I	380
» der Linsen	I	414
» daguerr'sche	I	635
Binden der Wärme beim Schmelzen	II	332
Binden der Wärme beim Verdampfen	II	387
Blasebalg	I	264
Blitz	II	643
Blitzableiter	II	649
Bohnenberger's Elektroskop	II	125
Bouffole	II	15
Brechung des Lichtes	I	381
» der Wärmestrahlen	II	460
» Erklärung durch die Vibrationstheorie	I	497
Brechung, doppelte	I	544
Brechungsexponent	I	385
» der Gase	I	401
Brechungsgesetz	I	385
Brechungsvermögen	I	399
Breguet's Thermometer	II	303
Brennlinie	I	381
Brennpunkt der Hohlspiegel	I	375
» der Linsen	I	410

C.

	Bd.	Seite
Calmen	II	574
Calorimeter	II	429
Calorimotor, Hare's	II	144
Camera lucida	I	465
» obscura	I	466
Capillarität	I	94
Centralbewegung	I	192
Centrifugalkraft	I	197
Chemische Wirkungen d. Säule	II	153
» » des Lichtes	I	633
Circularpolarisation	I	614
» in Flüssigkeiten	I	629
Cirrus	II	605
Coercitivkraft	II	11
Cohäsion	I	13
Combinationstöne	I	331
Communicirende Röhren	I	77
Commutator	II	691
Compas	II	16
Compensationspendel	II	302
Compensationsstreifen	II	302
Complementäre Farben	I	425, 589
Concavspiegel	I	373
Condensation der Gase	II	370
Condensator, elektrischer	II	109
Condensator der Dampfmaschinen	II	402
Conische Refraction	I	575
Constante Batterie v. Becquerel	II	144
» » v. Daniel	II	145
» » v. Grove	II	146
» » v. Bunsen	II	147
» » Theorie derselben	II	167
Contactelektricität	II	122
Contacttheorie	II	168
Continentalklima	II	513
Contractio venae	I	240
Contrastfarben	I	463
Converlinsen	I	405
Converspiegel	I	360
Cumulus	II	605

D.

	Bd.	Seite
Daguerreotyp	I	635
Dalton'sches Gesetz	II	355
Dämpfe im leeren Raume	II	336
» » lufterfüllten Raume	II	374
Dampfelektrisirmaschine	II	83
Dampfmaschine	II	397
Daniel's Hygrometer	II	589
Dauer des Lichteindrucks	I	457
Declination, magnetische	II	15
Diamagnetismus	II	689
Diathermanste	II	457
Dichtigkeit	I	17
» der Luft	II	324
» der Gase	II	328
» des Wasserdampfes	II	357
» verschiedener Dämpfe	II	365

	Bd.	Seite
Dichtigkeitsmaximum des Waſſers	II	310
Differenzialbarometer	I	137
Differenzialthermometer	II	447
Diffuſion der Gaſe	I	177
» der Wärmeſtrahlen	II	462
Disperſion	I	429
Drehung der Polariſationsebene durch den elektriſchen Strom	II	266
Drehungsgeſetz des Windes	II	519
Drehwage, Coulomb'ſche	II	29, 62
Druck, hydroſtatiſcher	I	73
» der Luft	I	117
Dualiſten	II	74

E.

Echo	I	296
Einfallsebene	I	382
Einfallsloth	I	362
Einfallswinkel	I	362
Elaſticität	I	56
» der Flüſſigkeiten	I	111
» der Luft	I	129
Elaſticitätsoberfläche	I	558
Elektricität	II	61
» poſitive u. negative	II	65
» gebundene	II	95
» durch Wärme	II	117
» durch Druck	II	117
» atmoſphäriſche	II	640
Elektriſirmaſchine	II	77
Elektriſche Flüſſigkeiten	II	65
» Funken	II	67
» Piſtole	II	67
Elektrochemiſche Theorie	II	163
Elektrolyte	II	161
Elektrolytiſches Geſetz	II	165
Elektromagnet	II	208, 688
Elektromotoriſche Kraft	II	128
Elektrophor	II	75
Elektroſkop	II	61, 70
» v. Bohnenberger, verbeſſert v. Fechner	II	125
Emanationstheorie	I	483
Emiſſionstheorie	I	683
Endosmoſe	I	109
Excentriſche Scheibe	II	411
Expanſionskraft	I	13
Extraordinärer Strahl	I	549

F.

Fallgeſetze	I	181
Fallmaſchine, Atwood'ſche	I	184
Farbenſpectrum	I	419
Farbenzerſtreuung	I	419, 429
Farbenringe, Nobiliſche	II	160
» Newton'ſche	I	516
» 1ariger Kryſtalle	I	591
» 2ariger »	I	601
Farben, dünner Schichten	I	516
» dünner Gypsblättchen	I	578
» complementäre	I	425, 589
» des Himmels	II	618
Fernrohr	I	477
Fernſichtigkeit	I	446
Feſtigkeit	I	59
Feuerſpritze	I	162
Fiſche, elektriſche	II	281
Flaſchenzug	I	33
Flaſche, Leidner	II	100
» Lane's	II	105
Focus	I	375, 410
Fraunhofer'ſche Linien	I	430
Franklin'ſche Tafel	II	96
Fresnel'ſche Linſen	I	418
Fresnel'ſches Parallelopiped	I	623

G.

Galvanismus	II	120
Galvaniſche Polariſation	II	199
Galvanometer	II	175
Galvanoplaſtik	II	158
Gasbatterie	II	201
Gaſometer	I	258
Gebläſe	I	261
Gedeckte Pfeifen	I	298
Geſchwindigkeit	I	179
Geſchwindigkeit des Schalles	I	294

	Bd.	Seite
Geschwindigkeit in der Luft	I	294
» in Flüssigkeiten.	I	334
» in festen Körpern	I	336
Geschwindigkeit des Lichtes.	I	356
» der Elektricität.	II	108
Gewitter	II	641
Gewicht	I	16
» specifisches	I	18
Gewichtsthermometer	II	307
Gitter, Beugungs-	I	511
Gletscher	II	538
Gleichgewicht	I	23
Glühen der Metalldrähte durch galvanische Ströme	II	152
Goniometer	I	367
Gränzwinkel	I	388
Graßmann's Hahn	I	150

H.

Haarröhrchen	I	93
Hagel	II	614
Halbschatten	I	358
Hebel	I	34
Heber	I	156
Heliometer, Pouillet's	II	542
Heronsball	I	158
Heronsbrunnen	I	159
Höfe	II	633
Hohlprisma	I	395
Hohlspiegel	I	373
Hochdruckmaschine	II	419
Hufeisenmagnet	II	59
Hydrophan	I	70
Hydrostatik	I	70
Hydraulische Presse	I	168
Hydraulischer Widder I 256	II	672
Hygrometer	II	586

I.

Idioelektrische Körper	II	62
Inclination	II	16
Induction durch elektr. Ströme	II	246
Induction durch elektrische Magnete	II	252
Intensitätsbouſſole	II	25
Interferenz der Schallwellen	I	328
» des Lichtes	I	485
Interferenzkreisen	I	486
Interferenzprisma	I	486
Interferenzspiegel	I	486
Irradiation	I	454
Irrlicht	II	635
Isochimenen	II	511
Isodynamische Linien	II	659
Isogonische Linien	II	632
Isolatoren	II	63
Isoklinische Linien	II	655
Isotheren	II	511
Isothermen	II	506

K.

Kältemischungen	II	334
Kathetometer	II	306
Kation	II	169
Keil	I	31
Kehlkopf	I	344
Kette, galvanische	II	141
» thermoelektrische	II	275
Klangfiguren	I	281
Kohlensäure, flüssige	II	368
» feste	II	396
Krystallisation	I	62
Krystallsysteme	I	63
Krystalle, thermoelektrische	II	119
» doppeltbrechende 1arige	I	553
» » 2arige	I	566
Kryophor	II	395
Küstenklima	II	513
Kurzsichtigkeit	I	446

L.

Ladungssäule	II	199
Latente Wärme der Flüssigkeiten	II	332
» » der Dämpfe	II	387
Leidenfrost'scher Tropfen	II	385
Leidner Flasche	II	100
Leiter der Elektricität	II	63

	Bd.	Seite
Leitungsfähigkeit, elektrische, der Metalle	II	196
» der Flüssigkeiten	II	197
Leitung der Wärme	II	470
Licht, elektrisches	II	111
Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen	II	152
Linsen	I	405
Linsen, Sammel-	I	408
» Zerstreuungs-	I	413
Linsen, achromatische	I	438
Liter	I	639
Locomotive	II	420
Longitudinalschwingungen	I	324
Loupe	I	567
Luftballon	I	170
Luftdruck	I	117
Luftpumpe	I	144
Luftspiegelung	II	621
Luftthermometer	II	316

M.

Magdeburger Halbkugeln	I	152
Magnetismus, Gesetze und Theorie	II	9, 27
Magnetisirung durch Streichen	II	53
Magnetisirung durch elektrische Ströme	II	207
Magnetische Wirkung der Ströme	II	172
Magnetnadel	II	11
Magnetometer	II	20
Mariotte'sches Gesetz	I	129
Maaßflasche	II	105
Masse	I	17
Maximumthermometer	II	491
Melloni's Apparat	II	448
Messung der Spannkraft der Dämpfe	II	340
Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maaß	II	201
Metacentrum	I	82
Meteorsteine	II	637
Minimumthermometer	II	491
Mikrometer, Rochons	I	564
Mikroskop, einfaches	I	468
» zusammengesetztes	I	471
Mittellinie, magnetische	II	3
Mörser, elektrischer	II	104
Molekül	I	7
Molekularkräfte	I	13
Moment, statisches	I	36
» der Trägheit	I	212
Mousson	II	574
Multiplicator	II	175
» Theorie desselben	II	190

N.

Nachbilder, farbige	I	460
Nadel, elektrische	II	61
Nebel	II	603
Nebensonnen	II	633
Niederdruckmaschine	II	419
Nordlicht	II	665

O.

Objectiv für Mikroskope	I	471
» für Fernröhre	I	477
Ocular an Mikroskopen	I	472
» an Fernröhren	I	477
Ohm'sches Gesetz	II	183
Ohr	I	350
Ordinärer Strahl	I	549
Orgelpfeifen	I	308

P.

Parallelogramm der Kräfte	I	24
Parallelopiped, Fresnel'sches	I	623
Passatwind	II	574
Pendel	I	201
» ballistisches	I	211
» elektrisches	II	61
Phenakistoskop	I	458
Photometer	I	361
Photometer Bunsen's	II	674
Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes	II	150

	Bd.	Seite
Piezometer	I	111
Pole, magnetische	II	3
» der Erde	II	659
» der Voltaischen Kette	II	137
Polarisation des Lichtes	I	531
Polarisation, galvanische	II	199
Polarisationsapparat	I	533
Polarisationswinkel	I	536
Polarisationsebene	I	537
Polarisation der Wärmestrahlen	II	465
Porosität	I	9
Priesterpumpe	I	163
Prismen	I	389
Procentaräometer	I	92
Psychrometer	II	593
Pumpe	I	160

Q.

Quantität der Bewegung	I	208
Quadrantenelektrometer	II	81
Quadrantenthermometer	II	302
Quellentemperatur	II	524
Queckſilberthermometer	II	287

R.

Räder, gezahnte, zur Bestimmung der Schwingungszahl der Töne	I	320
Reaction des ausfließenden Waſſers	I	245
Reaction der ausſtrömenden Elektricität	II	116
Reflexion der Lichtſtrahlen	I	363
» der Wärmeſtrahlen	II	453
» der Schallſtrahlen	I	296
Regen	II	606
Regenbogen	II	626
Regenmenge	II	607
Regenmeſſer	II	607
Regulator	II	410
Reibung	I	228
Reſonanzboden	I	340
Reſultirende	I	25
Reverſionspendel	I	
Rheoſtat	II	
Ritchie's Rotationsapparat	II	
Rolle	I	
Rotation des Stroms um den Magneten	II	
Rotation des Stroms um den Strom	II	
Rotation des Magneten um den Strom	II	
Rotation der Magneten über einer Kupferſcheibe	II	
Rotationsmaſchine, magnetoelektriſche	II	
Rückſchlag	II	

S.

Saiten, geſpannte	I	
Säule, trockene	II	
Scalenaräometer	I	
Schallwellen	I	
Schatten	I	
Schiefe Ebene	I	
Schieberventil	II	
Schiffsdampfmaſchine	II	
Schmelzen	II	
Schmelzpunkte	II	
Schnee	II	
Schneegränze	II	
Schnellwage	I	
Schraube	I	
Schwere	I	
» allgemeine	I	
Schwerpunkt	I	
Schwingungspunkt	I	
Schwingungen, ſtehende	I	
Schwingungsknoten	I	
» in gedeckten Pfeifen	I	
» in offenen Pfeifen	I	
Schwingungszahl der verſchiedenen Töne	I	
Schwungkraft	I	
Schwungmaſchine	I	
Secundäre Säule	II	
Sehen, deutliches	I	

	Bd.	Seite
Sehweite	I	446
Seilwellen	I	277
Seitenkräfte	I	24
Seitendruck beim Ausströmen der Flüssigkeiten	I	267
Seitendruck beim Ausströmen der Gase	I	267
Segner's Wasserrad	I	245
Sicherheitsröhre	I	155
Siedepunkte	II	385
Siedepunkt des Wassers in verschiedenen Höhen	II	379
Sinusbouſſole	II	179
Sonnenmikroskop	I	469
Spannungsreihe	II	128
Specifisches Gewicht	I	18
Specifische Wärme	II	428
» » der Gase	II	438
Spiegel, ebene	I	364
» sphärische	I	373
Spiegelsextant	I	369
Spiegelung, Erklärung der, durch die Vibrationstheorie	I	496
Spiegelversuch, Fresnel'scher	I	486
Spannkraft der Dämpfe	II	336
» Maximum derselben	II	337
» verschiedener Dämpfe	II	355
Stechheber	I	156
Stoßheber, Mohr's	II	672
Stöße	I	331
Stürme	II	582
Sternschnuppen	II	637
Ströme, elektrische gekreuzte	II	233
» » parallele	II	231
Syrene	I	317

T.

Tangentenbouſſole	II	177
Tageslänge in verschiedenen Breiten	II	487
Teleskop	I	476
Temperatur	II	287
» mittlere	II	497
» des Bodens	II	521
» der Quellen	II	524
Temperatur d. Seen und Flüsse	II	524
» der Meere	II	526
» in höheren Luftregionen	II	529
Telegraph, elektrischer	II	218
Thau	II	603
Theilbarkeit	I	5
Thermometer	II	287
Thermomultiplicator	II	448
Thermoelektrische Säule	II	279
Thermoelektrische Elemente	II	275
Thierische Wärme	II	479
Tornados	II	584
Toricelli'sche Röhre	I	119
» Leere	I	119
Toricelli's Theorem	I	233
Torsionsgalvanometer	II	677
Totale Reflexion	I	388
Trägheit	I	14
Trägheitsmomente	I	212
Trogapparat	II	142
Turbine	I	249
Turmalinzange	I	540

U.

Undulationstheorie	I	483
Undurchdringlichkeit	I	5
Unitarier	II	74

V.

Variationen, magnetische	II	21
» der Temperatur	II	488
» tägliche	II	494
» jährliche	II	498
» des Barometers	II	556
» im Wassergehalte der Luft	II	597
Verdampfen	II	377
Verdunsten	II	377
Vertheilung, elektrische	II	68
Vibrationstheorie	I	489
Voltaischer Fundamentalversuch	II	122
Voltaische Säule	II	133

	Bd.	Seite
Volumeter	I	87
Volumenometer	I	139

W.

Wage	I	49
» hydrostatische	I	80
Wärmestrahlungsvermögen	II	450
Wärmecapacität	II	428
» der Gase	II	438
Wärmeerzeugung durch chemische Verbindung	II	476
Wärmeerzeugung durch Reibung	II	483
Wasserräder	I	247
Wassersäulenmaschine	I	119
Wasserwellen	I	274
Wasserzersetzung	II	154
Wasserhosen	II	585
Wellenlänge	I	276
Wellenlänge der verschiedenen Töne	I	316
Wellenlänge der verschiedenen Farben	I	507
Wellenoberfläche 1axiger Krystalle	I	551
Wellenoberfläche 2axiger Krystalle	I	572
Widder, hydraulischer	I	256
Windbüchse	I	155
Winddrehungsgesetz	II	
Winde	II	
Winkelspiegel	I	
Wollaston's Batterie	II	
Wolken	II	
Wunderscheibe	I	

Z.

Zambonische Säule	II	
Zerlegung, prismatische, der Farben durchsichtige Körper	I	
Zerlegung, prismatische, der Interferenzfarben	I	
Zerstreuung des Lichtes	I	
Zerstreuende Kraft	I	
Zitteraal	II	
Zitterrochen	II	
Zone, heiße	II	
» kalte	II	
» gemäßigte	II	
Zodiakallicht	II	
Zungenpfeife	I	
Zündmaschine	I	
Zusammendrückbarkeit	I	
Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten	I	
Zusammensetzung des weißen Lichtes	I	

MAR 3 1938